NETAJI SUBHAS OPEN UNIVERSITY

STUDY MATERIAL

SPH

PAPER- 3

PRACTICAL PHYSICS

SUBSIDIARY
PHYSICS

প্রাক্‌কথন

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের স্নাতক শ্রেণির জন্য যে পাঠক্রম প্রবর্তিত হয়েছে, তার লক্ষণীয় বৈশিষ্ট্য হ'ল প্রতিটি শিক্ষার্থীকে তাঁর পছন্দমত কোনও বিষয়ে সাম্মানিক (Honours) স্তরে শিক্ষাগ্রহণের সুযোগ করে দেওয়া। এক্ষেত্রে ব্যক্তিগতভাবে তাঁদের গ্রহণ ক্ষমতা আগে থেকেই অনুমান করে না নিয়ে নিয়ত মূল্যায়নের মধ্য দিয়ে সেটা স্থির করাই যুক্তিযুক্ত। সেই অনুযায়ী একাধিক বিষয়ে পাঠ-উপকরণ রচিত হয়েছে ও হচ্ছে—যার মূল কাঠামো স্থিরীকৃত হয়েছে একটি সুচিন্তিত পাঠক্রমের ভিত্তিতে। কেন্দ্র ও রাজ্যের অগ্রগণ্য বিশ্ববিদ্যালয়সমূহের পাঠক্রম অনুসরণ করে তার আদর্শ উপকরণগুলির সমন্বয়ে রচিত হয়েছে এই পাঠক্রম। সেইসঙ্গে যুক্ত হয়েছে অধ্যেতব্য বিষয়ে নতুন তথ্য, মনন ও বিশ্লেষণের সমাবেশ।

দূর-সঞ্চারী শিক্ষাদানের স্বীকৃত পদ্ধতি অনুসরণ করেই এইসব পাঠ-উপকরণ লেখার কাজ চলছে। বিভিন্ন বিষয়ের অভিজ্ঞ পণ্ডিতমণ্ডলীর সাহায্য এ কাজে অপরিহার্য এবং যাঁদের নিরলস পরিশ্রমে লেখা, সম্পাদনা তথা বিন্যাসকর্ম সুসম্পন্ন হচ্ছে তাঁরা সকলেই ধন্যবাদের পাত্র। আসলে, এঁরা সকলেই অলক্ষ্যে থেকে দূরসঞ্চারী শিক্ষাদানের কার্যক্রমে অংশ নিচ্ছেন; যখনই কোনও শিক্ষার্থী এই পাঠ্যবস্তুনিচয়ের সাহায্য নেবেন, তখনই তিনি কার্যত একাধিক শিক্ষকমণ্ডলীর পরোক্ষ অধ্যাপনার তাবৎ সুবিধা পেয়ে যাচ্ছেন।

এইসব পাঠ-উপকরণের চর্চা ও অনুশীলনে যতটাই মনোনিবেশ করবেন কোনও শিক্ষার্থী, বিষয়ের গভীরে যাওয়া তাঁর পক্ষে ততই সহজ হবে। বিষয়বস্তু যাতে নিজের চেষ্টায় অধিগত হয়, পাঠ-উপকরণের ভাষা ও উপস্থাপনা তার উপযোগী করার দিকে সর্বস্তরে নজর রাখা হয়েছে। এরপর যেখানে যতটুকু অস্পষ্টতা দেখা দেবে, বিশ্ববিদ্যালয়ের বিভিন্ন পাঠকেন্দ্রে নিযুক্ত শিক্ষা-সহায়কগণের পরামর্শে তার নিরসন অবশ্যই হ'তে পারবে। তার ওপর, প্রতি পর্যায়ের শেষে প্রদত্ত অনুশীলনী ও অতিরিক্ত জ্ঞান অর্জনের জন্য গ্রন্থ-নির্দেশ শিক্ষার্থীর গ্রহণক্ষমতা ও চিন্তাশীলতা বৃদ্ধির সহায়ক হবে।

এই অভিনব আয়োজনের বেশ কিছু প্রয়াসই এখনও পরীক্ষামূলক—অনেক ক্ষেত্রে একেবারে প্রথম পদক্ষেপ। স্বভাবতই ত্রুটি-বিচ্যুতি কিছু কিছু থাকতে পারে, যা অবশ্যই সংশোধন ও পরিমার্জনার অপেক্ষা রাখে। সাধারণভাবে আশা করা যায় ব্যাপকতর ব্যবহারের মধ্য দিয়ে পাঠ-উপকরণগুলি সর্বত্র সমাদৃত হবে।

অধ্যাপক (ড.) শুভ শঙ্কর সরকার
উপাচার্য

পঞ্চম পুনর্মুদ্রণ : জানুয়ারি, 2020

বিশ্ববিদ্যালয় মঞ্জুরি কমিশনের দূরশিক্ষা ব্যুরোর বিধি অনুযায়ী মুদ্রিত।
Printed in accordance with the regulations of the Distance Education Bureau of the University Grants Commission.

পরিচিতি

বিষয় : ব্যবহারিক পদার্থবিদ্যা

স্নাতক স্তর

পাঠক্রম : SPH : 3

	রচনা	সম্পাদনা
একক 1	ড. প্রতীপ কুমার চৌধুরী	ড. রামকুমার গুছাইত
একক 2	ঐ	ঐ
একক 3	ঐ	ঐ
একক 4	ঐ	ঐ
একক 5	ড. স্বপন কুমার দত্ত	ঐ
একক 6	ড. রাজকুমার চক্রবর্তী	ঐ
একক 7	ঐ	ঐ
একক 8	ঐ	ঐ
একক 9	ঐ	ঐ
একক 10	ড. দেবীপ্রসাদ সরকার	ঐ
একক 11	ঐ	ঐ
একক 12	ঐ	ঐ
একক 13	ড. রামকুমার গুছাইত	ড. রূপায়ন ভট্টাচার্য
একক 14	ঐ	ঐ

প্রজ্ঞাপন

এই পাঠ-সংকলনের সমুদয় স্বত্ত্ব নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের দ্বারা সংরক্ষিত। বিশ্ববিদ্যালয় কর্তৃপক্ষের লিখিত অনুমতি ছাড়া এর কোনও অংশের পুনর্মুদ্রণ বা কোনওভাবে উদ্ধৃতি সম্পূর্ণ নিষিদ্ধ।

মোহন কুমার চট্টোপাধ্যায়
নিবন্ধক

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়

SPH 3

ব্যবহারিক পদার্থবিদ্যা-1

(স্নাতক পাঠক্রম)

একক 1	❑ ব্যাবর্তন দোলক ও তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয়	7 – 14
একক 2	❑ টানা সুতায় তরঙ্গ সঞ্চার-মেল্‌ডি-র পরীক্ষা	15 – 23
একক 3	❑ কৈশিক নলে জলের প্রবাহ ও জলের সান্দ্রতা	24 – 31
একক 4	❑ উত্তল ও অবতল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় : স্থানান্তর ও যুগ্মিত পদ্ধতি	32 – 41
একক 5	❑ লী-এর চাকতি পদ্ধতির সাহায্যে তাপ কুপরিবাহী পদার্থের তাপপরিবাহিতা (thermal conductivity) নির্ণয়	42 – 54
একক 6	❑ থেভঁন্যা, নর্টন এবং অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদন	55 – 66
একক 7	❑ পারদ তাপমানের সাহায্যে থার্মিস্টরের অংশাঙ্কন এবং পটিচ্ছেদ নির্ণয়	67 – 72
একক 8	❑ ট্রানজিস্টরের কমন বেস বা কমন এমিটার বর্তনীর ইন্‌পুট্‌ এবং আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্য-লেখ অঙ্কন	73 – 93
একক 9	❑ জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কন এবং ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক নির্মাণে জেনার ডায়োডের ব্যবহার	94 – 109

একক 10 ❑ পোলারিমিটারের সাহায্যে চিনির দ্রবণের গাঢ়ত্ব ও আলোকীয় ঘূর্ণনের সম্পর্ক নির্ণয় 110 – 119

একক 11 ❑ প্রিজম স্পেকট্রোমিটারের সাহায্যে $\delta - \lambda$, $\delta - 1/\lambda^2$ লেখচিত্র অঙ্কন ও একটি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় 120 – 137

একক 12 ❑ অপবর্তন গ্রেটিং $\sin\theta - \lambda$ লেখচিত্র অঙ্কন ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য নিরূপণ 138 – 150

একক 13 ❑ মিটার ব্রিজের সাহায্যে রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক নির্ণয় 151 – 162

একক 14 ❑ (a) অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে OR ও AND গেট গঠন ও এদের সত্যসারণি প্রমাণের পরীক্ষা (b) IC NAND ও NOR গেট ব্যবহার করে NOT, AND ও OR গেট গঠন ও এদের সত্যসারণি প্রমাণের পরীক্ষা 163 – 188

একক 1 ❐ ব্যাবর্তন দোলক ও তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয়

গঠন

1.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য
1.2 ব্যাবর্তন দোলক
1.2.1 মূলতত্ত্ব
1.2.2 তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয়
1.3 সারাংশ
1.4 প্রশ্নাবলি
1.5 উত্তরমালা

1.1 প্রস্তাবনা

এই এককে আপনি একটি পরীক্ষার নির্দেশ পাবেন যার দ্বারা আপনি একটি তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবেন।

ব্যাবর্তন দোলকে একটি উল্লম্ব তার ও সেটির নিম্নপ্রান্তে আবদ্ধ ভারি চাকতি বা বেলন থাকে। তারটির উপরের প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে এবং সেটির নিম্নপ্রান্তে মোচড় দিলে ব্যাবর্তন কোণের সমানুপাতী একটি প্রত্যানয়ক বলযুগ্মের সৃষ্টি হয়। এই প্রত্যানয়ক বলযুগ্মের প্রভাবে তারে ঝোলানো বস্তুটির ব্যাবর্তন দোলন ঘটতে থাকে। এই ব্যবস্থাটিকে আমার ব্যাবর্তন দোলক বলি। ব্যাবর্তন দোলনের পর্যায়কাল তারের কৃন্তন দৃঢ়তা (torsional rigidity) এবং উল্লম্ব ঘূর্ণনাক্ষের সাপেক্ষে ঝোলানো বস্তুটির জড়তা ভ্রামকের (moment of inertia) উপর নির্ভর করে। এই পর্যায়কালের পরিমাপ করে আপনি তারের কৃন্তন দৃঢ়তা ও দৃঢ়তা গুণাঙ্ক বার করতে পারবেন, কেননা জড়তা ভ্রামকটি বস্তুর ভর ও জ্যামিতিক পরিমাপের উপর নির্ভর করে, যা সহজেই জানা যায়।

এই এককে বর্ণিত পরীক্ষাটি আপনাকে ব্যাবর্তন দোলনের বৈশিষ্ট্যের সঙ্গে পরিচিত করবে।

উদ্দেশ্য

এই পরীক্ষাটির মাধ্যমে আপনি বেশ কয়েক ধরনের উপযোজন (adjustment) ও পরিমাপ করতে শিখবেন। এগুলি হল—

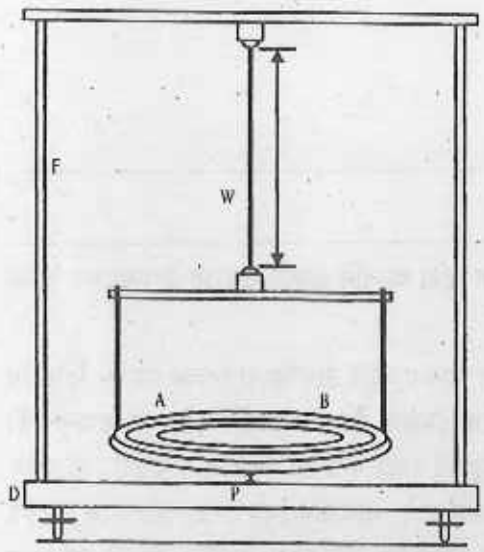
- লেভেলিং স্ক্রুর সাহায্যে ব্যাবর্তন দোলনের কাঠামোটিকে উল্লম্ব অবস্থায় আনা।
- কয়েকটি বৃত্তচাপ আকারের ওজন ও স্পিরিট লেভেলের সাহায্যে দোলকের ঝুলন্ত মঞ্চটিকে অনুভূমিক করা।

- দোলকের ব্যাবর্তন দোলনের পর্যায়কাল নির্ণয় করা।
- নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকারের একটি বস্তুর জড়তা ভ্রামক নির্ণয় করা।

এছাড়া পরীক্ষাটির মূল লক্ষ্য একটি তারের ব্যাবর্তন ধ্রুবক (torsional constant) ও সেটির উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয় করা। আপনি যে কোনো তারের ক্ষেত্রেই এই দুটি ভৌতরাশির মান নির্ণয় করতে শিখবেন।

1.2 ব্যাবর্তন দোলক

ব্যাবর্তন দোলকের (চিত্র 1.1) অংশগুলি প্রথমেই চিনে নিন। এখানে W পরীক্ষাধীন তার, যেটির উপরের প্রান্ত F কাঠামোর সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। তারের নিচের প্রান্তে একটি দোলনা C ঝোলানো আছে। দোলনের বৃত্তাকার মঞ্চের (S) উপর একটি সমকেন্দ্রিক বৃত্তাকার নালি আছে, যার মধ্যে বৃত্তচাপের আকারে বাঁকানো দুই তিনটি দন্ড (A, B) রাখা যায়। মঞ্চের নিচে একটি সূচক (P) লাগানো আছে। কাঠামোটি খাড়াভাবে থাকলে এই সূচকটি কাঠামোর সঙ্গে সংযুক্ত আর একটি সূচকের (P′) সঙ্গে মিলে যায়। এছাড়া এই পরীক্ষায় একটি চাকতি, বেলন বা আয়তফলকাকৃতির ধাতুখণ্ড দোলনার জড়তা ভ্রামক বাড়ানোর জন্য ব্যবহৃত হয় (চিত্র 1.2)। এগুলিকে মঞ্চের উপর সমাক্ষভাবে রাখা হয়।



চিত্র 1.1

1.2.1 মূলতত্ত্ব ঃ ব্যবর্তন দোলকের তারটির নিচের প্রান্তে θ কোণে মোচড় দিতে যে বলযুগ্মের প্রয়োজন হয়

তার ভ্রামক $\Gamma = \dfrac{\pi n r^4 \theta}{2\ell} = \tau\theta,$ ...1.1

যেখানে n = তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক

r ও ℓ = যথাক্রমে তারের প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ ও দৈর্ঘ্য

τ = তারের ব্যাবর্তন ধ্রুবক = $\dfrac{\pi n r^4}{2\ell}$

এই তার থেকে যদি I জড়তা ভ্রামকের কোন বস্তু ঝোলানো থাকে তবে তার ও ঐ বস্তুর ব্যাবর্তন দোলনের পর্যায়কাল

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{\tau}} \qquad \text{....1.2}$$

তবে ঝোলানো দোলকটির গঠন জটিল এবং জড়তা হিসাব করা কঠিন। তাই এই পরীক্ষাটিতে এক বা ততোধিক বাড়তি ধাতুখণ্ডের সাহায্য নেওয়া হয়। ধরি দোলনটির জড়তা ভ্রামক $= I_0$ এবং একই অক্ষের উপর মঞ্চে রাখা ধাতুখণ্ডের জড়তা ভ্রামক I। তাহলে

কেবলমাত্র দোলনার দোলনকাল $T_0 = 2\pi\sqrt{I_0/\tau}$

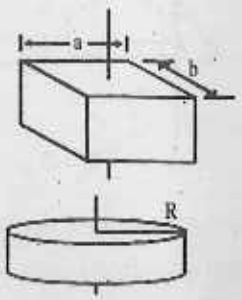
এবং ধাতুখন্ড সমেত দোলনার দোলনকাল $T = 2\pi\sqrt{(I_0 + I)/\tau}$

উপরের দুটি সমীকরণ থেকে I_0 কে অপনয়ন করলে

$$T^2 - T^2_0 = 4\pi^2 I/\tau$$

বা, $\tau = 4\pi^2 I/\left(T^2 - T^2_0\right)$ 1.3

ধাতুখণ্ডের জড়তা ভ্রামক নির্ণয়ের জন্য সেটির ভর M, চাকতি বা বেলনের ক্ষেত্রে তার ব্যাসার্ধ R এবং আয়তফলকের ক্ষেত্রে তার অনুভূমিক দৈর্ঘ্য a ও প্রস্থ b জানা দরকার। চাকতি বা বেলনের ক্ষেত্রে $I = \frac{1}{2}MR^2$ এবং আয়তনফলকের ক্ষেত্রে $I = \frac{1}{12}M(a^2 + b^2)$ ।



চিত্র 1.2

I, T, T_0 এর পরিমাপ থেকে τ মান নির্ণয় করা যায়। আবার τ-এর মান জানা থাকলে তারের ব্যাসার্ধ ও দৈর্ঘ্য মেপে সহজেই সেটির উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায়। কেননা

$$n = \frac{2\ell\tau}{\pi r^4}$$

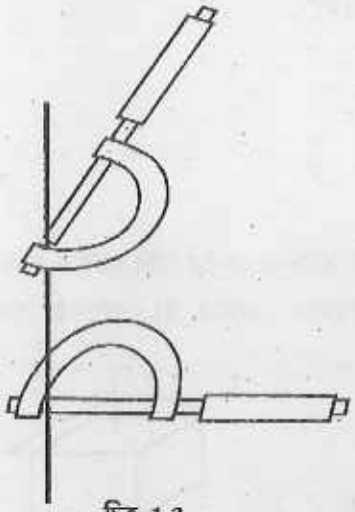
1.2.2 তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয়

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি ঃ ভারসাম্য রক্ষার বাঁকানো দন্ড ও জড়তাভ্রামক বৃদ্ধি করার জন্য ধাতুখণ্ড সমেত ব্যাবর্তন দোলক, স্কেল, ভার্নিয়ার ক্যালিপার, স্ক্রুগেজ, স্টপওয়াচ।

(i) ব্যাবর্তন দোলকের মঞ্চটির জড়তা ভ্রামক বাড়ানোর জন্য যে চাকতি বা বেলন বা আয়তফলক দেওয়া আছে সেটির ভর M, ভারি জিনিস ওজন করার উপযুক্ত তুলাযন্ত্রের সাহায্যে নির্ণয় করুন। ভার্নিয়ার ক্যালিপারের মূল স্কেলের ভাগ ও ভার্নিয়ার স্কেলের এক দাগের মূল্য অর্থাৎ ভার্নিয়ার স্কেলের ধ্রুবক নির্ণয় করুন। ক্যালিপারের সাহায্যে চাকতি বা বেলনের ক্ষেত্রে সেটির ব্যাস অন্তত তিনটি অংশে পরস্পর লম্ব দুই দিকে ক্যালিপারটি বসিয়ে নির্ণয় করুন। গড় ব্যাস নির্ণয় করে ব্যাসার্ধ R গণনা করুন এবং সেটি ব্যবহার করে জড়তা ভ্রামক $I = \frac{1}{2}MR^2$ নির্ণয় করুন। অনুরূপভাবে আয়তফলকের ক্ষেত্রে ক্যালিপারের সাহায্যে

তার দৈর্ঘ্য a ও প্রস্থ b নির্ণয় করুন এবং সেগুলির সাহায্যে জড়তা ভ্রামক $I = \frac{1}{12}M(a^2 + b^2)$ নির্ণয় করুন (সারণি 1.1)

(ii) লক্ষ্য করুন ব্যাবর্তন দোলকের তারটিতে কোন খিঁচ (kink) আছে কিনা। যদি কোন খিঁচ থাকে তবে তারের নমুনাটি পালটিয়ে নিন। মিটার স্কেলের সাহায্যে ব্যাবর্তন দোলকের তারের দৈর্ঘ্য l নির্ণয় করুন। স্ক্রুগেজের পিচ্ p এবং চক্রাকার স্কেলের বিভাগ সংখ্যা N কত দেখে নিন এবং পরিমাপযোগ্য হ্রস্বতম দৈর্ঘ্যের (least count) মান বার করুন। স্ক্রুগেজের সাহায্যে ব্যাবর্তন দোলকের তারের ব্যাস অন্ততঃ দশটি জায়গায় বার করুন। প্রত্যেক ক্ষেত্রে পরস্পর সমকোণে থাকা দুটি ব্যাস বরাবর স্ক্রু গেজটি বসান এবং স্ক্রু গেজের দুটি পাঠের গড় নির্ণয় করুন (1.3 চিত্রে স্ক্রু গেজের অবস্থান দেখানো হয়েছে)। এরূপ দশটি গড় ব্যাসের গড় নিন এবং তা থেকে তারের প্রস্থচ্ছেদের গড় ব্যাসার্ধ r নির্ণয় করুন (সারণি 1.2)।



চিত্র 1.3

(iii) F কাঠামোর সঙ্গে যদি লেভেলিং স্ক্রু (L_1, L_2, L_3) লাগানো থাকে তবে কাঠামোর পীঠিকাটির (D) উপর একটি স্পিরিট লেভেল রেখে লেভেলিং স্ক্রুগুলির সাহায্যে পীঠিকাটি অনুভূমিক করুন। এজন্য আপনি প্রথমে স্পিরিট লেভেলটিকে L_1 ও L_2 সরলরেখার সমান্তরাল রেখে L_1 ও L_2 স্ক্রুকে পরস্পর উল্টো দিকে ঘুরিয়ে স্পিরিট লেভেলকে অনুভূমিক করুন। এরপর স্পিরিট লেভেলকে L_3 থেকে L_1L_2 এর উপর লম্ব বরাবর রেখে L_3 স্ক্রুটিকে (অথবা L_1 ও L_2 কে একই দিকে) ঘুরিয়ে স্পিরিট লেভেলকে আবার অনুভূমিক করুন। এবার বাঁকানো দণ্ড A ও B কে সরিয়ে P ও P′ সূচকদুটিকে মুখোমুখি অবস্থায় আনুন। এতে পরীক্ষাধীন তারটি উলম্ব অবস্থায় আসবে। ব্যাবর্তন দোলকটি এখন পরীক্ষার জন্য তৈরি।

(iv) দোলনাটিকে পাশের দিকে না সরিয়ে অল্প ঘুরিয়ে দিন। দোলনাটি এখন কৌণিকভাবে দুলতে থাকবে। সেটি যেইমাত্র দোলনের প্রান্ত অবস্থায় এসে মুহূর্তের জন্য স্থির হবে তখনই স্টপওয়াচ চালু করুন এবং পূর্ণ দোলনের সংখ্যা গুনতে থাকুন। 15, 20, বা 25টি দোলন সম্পূর্ণ হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে স্টপওয়াচ বন্ধ করুন। এইভাবে অন্তত তিনটি ভিন্ন দোলন সংখ্যার জন্য অতিক্রান্ত সময় 1.3 সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন। প্রতিক্ষেত্রে অতিক্রান্ত সময়কে দোলনসংখ্যা দিয়ে ভাগ করে এবং সেগুলির গড় নির্ণয় করে দোলনের পর্যায়কাল T_0 নির্ণয় করুন।

(v) জড়তা ভ্রামক বাড়ানোর বেলন, চাকতি বা আয়তফলকটিকে এবার সাবধানে দোলনার মঞ্চের উপর রাখুন, যাতে সেটির প্রতিসাম্য অক্ষ তারটির দৈর্ঘ্য বা মঞ্চের অক্ষ বরাবর থাকে। দেখে নিন P, P′ সূচক দুটি আগের মত মুখোমুখি আছে। এবার (iv) অংশে যেভাবে দোলনের পর্যায়কাল নির্ণয় করেছেন, ঠিক সেইভাবে আবার পর্যায়কাল (T) নির্ণয় করুন।

(vi) I, T_0 ও T রাশিগুলির মান এখন আপনার জানা আছে। 1.3 সূত্রের সাহায্যে ব্যাবর্তন ধ্রুবক τ এর মান নির্ণয় করুন। τ, তারের দৈর্ঘ্য l এবং ব্যাসার্ধ r এর মান ব্যবহার করে দৃঢ়তা গুণাঙ্ক n এর মান নির্ধারণ করুন। প্রয়োজনীয় সারণিগুলি নীচে দেওয়া হল।

সারণি ও গণনা

সারণি 1.1

জড়তা-ভ্রামক নির্ণয়

ক্যালিপারের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান = ...l ... = ভার্নিয়ার স্কেল ঘর = ... মূলস্কেল ঘর। l ভার্নিয়াল স্কেল ঘর = মূলস্কেল ঘর। ক্যালিপারের ভার্নিয়ার ধ্রুবক = l মূলস্কেল ঘর – l ভার্নিয়ার স্কেল ঘর = l – ... মূলস্কেল ঘর = ... ।

ধাতুখণ্ড	ভর kg(M)	ব্যাস, দৈর্ঘ্য বা প্রস্থ (cm)			গড় পরিমাপ (m)		I (kg m^2)
বেলন বা চাকতি		(i)	(ii)	(iii)	D =	R =	$\frac{1}{2}MR^2$ =
আয়ত ফলক		(i) a : b :	(ii)	(iii)	a =	b =	$\frac{1}{12}M(a^2+b^2)$

সারণি 1.2

তারের ব্যাসার্ধ নির্ণয়

স্ক্রু গেজের পিচ (p) = mm; চক্রাকার স্কেলের বিভাগ (N) =

স্ক্রু গেজের পরিমাপযোগ্য হ্রস্বতম দৈর্ঘ্য = $\frac{P}{N}$ mm

	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)	(vii)	(viii)	(ix)	(x)	গড় ব্যাস mm	গড় ব্যাসার্ধ r (m)
প্রথম পরিমাপ												
90° কোণে দ্বিতীয় পরিমাপ												

তারের দৈর্ঘ্য = cm = m

সারণি 1.3

T_0-এর পরিমাপ				T-এর পরিমাপ			
দোলনের সংখ্যা	অতিক্রান্ত সময় (s)	দোলনকাল (s)	গড় দোলনকাল T_0 (s)	দোলনের সংখ্যা	অতিক্রান্ত সময় (s)	দোলনকাল (s)	গড় দোলনকাল T(s)
15				15			
20				20			
25				25			
30				30			
35				35			

তারের ব্যবর্তন ধ্রুবক $\tau = \frac{4\pi^2 I}{T^2 - T_0^2} = \frac{4\times 9.87\times ....kgm^2}{(.....)s^2 - (.....)s^2} = ... Nm/rad$

তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক $n = \frac{2l\tau}{\pi r^4} = \frac{2\times .....m\times ..... Nm/rad}{3.14(.....m)^4} = ...Nm^{-2}$

অনুশীলনী

আপনি বিভিন্ন দোলনসংখ্যার জন্য ব্যাবর্তন দোলকের দোলনের মোট সময় নির্ণয় করেছেন। বাড়তি ধাতুখণ্ডটি বসানো ও না বসানো অবস্থার জন্য দোলনসংখ্যা-অতিক্রান্ত সময়ের লেখচিত্র অঙ্কন করুন এবং উভয়ক্ষেত্রে মূলবিন্দুর মধ্য দিয়ে সবচেয়ে মানানসই সরলরেখা টানুন। দুটি সরলরেখা থেকেই নির্দিষ্ট সংখ্যক দোলনের জন্য মোট সময় নির্ণয় করুন এবং তা থেকে T ও T_0 নির্ণয় করুন। দেখুন এগুলির মান পূর্বে নির্ণীত মানের সঙ্গে মেলে কিনা।

1.3 সারাংশ

এই এককে বর্ণিত পরীক্ষাটিতে আপনি ব্যাবর্তন দোলনের পর্যবেক্ষণ দ্বারা একটি ধাতব তারের ব্যাবর্তন ধ্রুবক ও সেটির উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয় করেছেন। এই পরীক্ষার জন্য যে যন্ত্রব্যবস্থাটি ব্যবহৃত হয় তাকেই আমরা ব্যাবর্তন দোলক বলি। এই যন্ত্রের তারের ব্যাবর্তন বা মোচড়ের ফলে যে বলযুগ্ম উৎপন্ন হয় সেটিকে প্রত্যাবর্তক বলযুগ্ম হিসাবে ব্যবহার করে একটি প্রতিসাম্যবিশিষ্ট বস্তুর কৌণিক দোলন সৃষ্টি করা হয়। এই কৌণিক সরল দোলগতির পর্যায়কাল $2\pi\sqrt{\frac{I}{\tau}}$ যেখানে I আন্দোলিত বস্তুগুলির দোলনাক্ষের সাপেক্ষে জড়তা ভ্রামক, τ তারের ব্যবর্তন ধ্রুবক অর্থাৎ এক রেডিয়ান কোণে মোচড় দিতে

প্রয়োজনীয় বলযুগ্ম। তবে তারে ঝোলানো দোলনের জড়তা ভ্রামক জানা না থাকার ফলে এখানে সহজে জড়তা ভ্রামকের হিসাব করা যায় এমন একটি বাড়তি ধাতুখণ্ডের ব্যবহার করা হয়েছে। এর দ্বারা দোলনার জড়তাভ্রামকটি সূত্র থেকে অপনীত করা সম্ভব হয়েছে। তারের ব্যাবর্তন ধ্রুবকের মান ব্যবহার করে এবং তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাসার্ধের পরিমাপ করে আপনি নির্ণেয় দৃঢ়তা গুণাঙ্কের মান বার করেছেন।

তারের আকারে কোন ধাতুর বা ধাতুসংকরের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয় করতে ব্যাবর্তন দোলক পদ্ধতিটি একটি সহজ ও প্রচলিত পদ্ধতি।

1.4 প্রশ্নাবলি

1. একটি ব্যাবর্তন দোলকের দোলনার জড়তা ভ্রামক $4\times10^{-4}\,kg\,m^2$। দোলনার উপর সমাক্ষভাবে 3 cm ব্যাসার্ধের 500 gm ভরের একটি বেলন রাখলে দোলকের পর্যায়কাল কত শতাংশ বৃদ্ধি বা হ্রাস পাবে ?

2. একটি তারের ব্যাসার্ধ অর্ধেক দৈর্ঘ্যে r_1 ও বাকি অর্ধেক দৈর্ঘ্যে r_2। তারের ব্যাবর্তন ধ্রুবক নির্ণয় করতে সেটির ব্যাসার্ধ সর্বত্রই $\frac{1}{2}(r_1+r_2)$ ধরা যায় কি ?

3. আপনি 'সেকেন্ড - পেণ্ডুলাম' সম্বন্ধে পড়েছেন। এটির পর্যায়কাল $2s$। আপনাকে যদি 1mm ব্যাসের পিতলের $(n=4\times10^{10}Nm^{-2})$ তার ও $500\,gm$ ভর, $4cm$ দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও বেধের একটি ঘনক দেওয়া হয় তবে আপনি কীভাবে একটি 'সেকেন্ড - ব্যাবর্তন - পেণ্ডুলাম' তৈরি করবেন ?

1.5 উত্তরমালা

1. বেলনের অক্ষের উপর জড়তা ভ্রামক $=\frac{1}{2}.500.3^2\,gm\,cm^2=2250gm\,\mathrm{gm\,cm^2}$

$=2.25\times10^{-4}\,kg\,m^2$

$\therefore$ বেলন ও দোলনার মোট জড়তা ভ্রামক $(4+2.25)\,10^{-4}=6.25\times10^{-4}kg\,m^2$

দোলকের তারের ব্যাবর্তন ধ্রুবক যদি τ হয় তবে বেলনটি বসানোর আগে ও পরে দোলনকাল যথাক্রমে

$T_0=2\pi\sqrt{\frac{4\times10^{-4}}{\tau}}$ এবং $T=2\pi\sqrt{\frac{6.25\times10^{-4}}{\tau}}$ $\therefore\frac{T}{T_0}=\sqrt{\frac{6.25}{4}}=1.25$। সুতরাং দোলকের পর্যায়কাল 25% বৃদ্ধি পাবে।

2. ধরা যাক তারের দৈর্ঘ্য $2l$, উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক n। তারটির উপরের প্রান্ত আবদ্ধ রেখে নিচের প্রান্তে t পরিমাণ বলযুগ্ম প্রয়োগ করা হয়েছে। তারটি সাম্যে থাকলে উভয় অর্ধেকের উপরই এই বলযুগ্ম কাজ করবে। ধরুন এর জন্য দুই অর্ধেকের θ_1 ও θ_2 কোণের ব্যাবর্তন ঘটল।

$\therefore t = \frac{\pi n r_1^4 \theta_1}{2l} = \frac{\pi n r_2^4 \theta_2}{2l}$

$\therefore$ তারের মোট ব্যাবর্তন কোণ $\theta = \theta_1 + \theta_2 = \frac{2lt}{\pi n}\left(\frac{1}{r_1^4} + \frac{1}{r_2^4}\right)$

যদি সমগ্র তারের সমতুল্য ব্যাসার্ধ r হয় তবে $\theta = \frac{2.2lt}{\pi n} \cdot \frac{1}{r^4}$.

সুতরাং $\frac{1}{r_1^4} + \frac{1}{r_2^4} = \frac{2}{r^4}$ এই সম্পর্ক থেকে বোঝা যায় যে তারের সমতুল্য ব্যাসার্ধ $\frac{1}{2}(r_1 + r_2)$ ধরা যায় না।

(এই কারণে তারটির বিভিন্ন অংশে সেটির ব্যাস মাপতে হয়। যদি ব্যাসের পরিমাপে খুব বেশি হেরফের হয় তবে গড় ব্যাস ব্যবহার করে সঠিক ফল পাওয়া যায় না। এক্ষেত্রে তারের অন্য নমুনা ব্যবহার করতে হবে।)

3. ঘনকটির দুই বিপরীত তলের কেন্দ্রবিন্দু দিয়ে যে প্রতিসাম্য অক্ষ কল্পনা করা যায় তার উপর জড়তা ভ্রামক $I = \frac{1}{12} \times 500 \text{ gm} \times (4^2 + 4^2) \text{ gm cm}^2 = 133 \text{ gm cm}^2$

$$= 1.333 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$$

ব্যাবর্তন দোলকের পর্যায়কাল $T = 2\pi\sqrt{\frac{2Il}{\pi n r^4}}$। এখানে $r = 0.5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}$, $T = 2\text{s}$, $n = 4 \times 10^{10} \text{ Nm}^2$

সুতরাং তারের দৈর্ঘ্য $l = \frac{T^2 n r^4}{4\pi 2I} = \frac{2^2 \times 4 \times 10^{10} \times (5 \times 10^{-4})^4}{8\pi \times 1.333 \times 10^{-4}} = 3.0 \text{ m}$

একক 2 ❐ টানা সুতায় তরঙ্গ সঞ্চার—মেল্‌ডির পরীক্ষা

গঠন

2.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য

2.2 টানা সুতায় স্থাণুতরঙ্গ

2.3 সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়
2.3.1 পরীক্ষার পদ্ধতি

2.4 টানা সুতায় তরঙ্গবেগের সূত্রের প্রতিপাদন
2.4.1 পরীক্ষা পদ্ধতি

2.5 সারাংশ

2.6 প্রশ্নাবলি

2.7 উত্তরমালা

2.1 প্রস্তাবনা

এই এককে আপনি এমন একটি পরীক্ষা করতে শিখবেন যেটিতে একটি টান দেওয়া সুতার এক প্রান্তকে সকল দোলগতিতে আন্দোলিত করে সুতাটিতে সরল অনুপ্রস্থ দোলতরঙ্গ উৎপন্ন করা হবে। এই পরীক্ষাটি মেল্‌ডি (Melde) এর পরীক্ষা নামে পরিচিত। এই পরীক্ষায় আপনি স্থাণুতরঙ্গের সঙ্গে প্রত্যক্ষভাবে পরিচিত হবেন এবং তার সঙ্গে দোলগতির সম্পর্কটিও বুঝতে পারবেন।

আপনি হয়ত ইতিমধ্যেই পড়েছেন যে টান দেওয়ার সুতায় অনুপ্রস্থ তরঙ্গে বেগ $V = \sqrt{\frac{T}{m}}$, যেখানে T ও m যথাক্রমে সুতার টান ও একক দৈর্ঘ্যের ভর। এই তরঙ্গ সুতাটির প্রান্তে প্রতিফলিত হলে আপতিত ও প্রতিফলিত তরঙ্গের উপরিপাতনে সুতায় স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি হয়। স্থাণুতরঙ্গের নিস্পন্দ বিন্দুগুলির মধ্যে ব্যবধান তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অর্ধেক, অর্থাৎ $\frac{\lambda}{2}$ হয়। এখানে λ বা তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $= \frac{V}{n}$, যেখানে n = তরঙ্গের কম্পাঙ্ক।

এই পরীক্ষায় সুতার একপ্রান্ত আবদ্ধ এবং অন্যপ্রান্ত একটি কম্পমান বিদ্যুৎচালিত সুরশলাকার ডাঁটির সঙ্গে যুক্ত করে সুতায় স্থাণুতরঙ্গ উৎপাদন করা হবে। স্থাণুতরঙ্গের নিস্পন্দ বিন্দুগুলির মধ্যে দূরত্ব পরিমাপ করে আপনি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয় করতে পারবেন। সুতার একক দৈর্ঘ্য পিছু ভর মেপে ও সুতার টান জেনে নিয়ে সুতায় অনুপ্রস্থ তরঙ্গের বেগও নির্ধারণ করা যায়। তরঙ্গদৈর্ঘ্য জানা থাকায় এই পদ্ধতিতে

সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যায়। অথবা ঐ কম্পাঙ্ক দেওয়া থাকলে টানা সুতায় অনুপ্রস্থ তরঙ্গের বেগসংক্রান্ত সূত্রটি প্রতিপাদন করা যায়।

টানা সুতায় অনুপ্রস্থ স্থাণুতরঙ্গ যাবতীয় তারের বাদ্যযন্ত্রে উৎপন্ন শব্দের মূল উৎস। এই স্থাণুতরঙ্গের কম্পাঙ্কই তারের মূলসুরের তীক্ষ্ণতা নির্ধারণ করে। এ জন্যই পরীক্ষাটি স্বনবিদ্যায় বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ।

উদ্দেশ্য

এই এককে বর্ণিত পরীক্ষার মাধ্যমে আপনি—

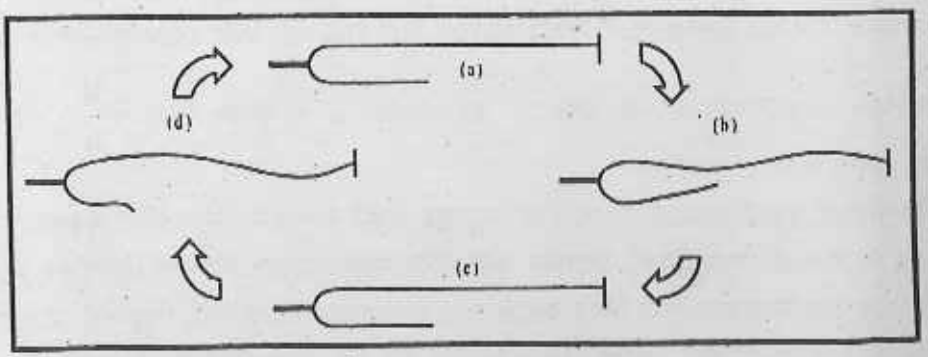
- টান দেওয়া সুতায় অনুপ্রস্থ স্থাণুতরঙ্গের উৎপাদন সরাসরি দেখাতে পারবেন ;
- একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবেন ;
- টান দেওয়া সুতায় বিভিন্ন সমমেলে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সূত্র এবং অনুপ্রস্থ তরঙ্গের বেগের সূত্র প্রতিপাদন করতে পারবেন।

এগুলি ছাড়াও পরীক্ষাটি করতে গিয়ে আপনি বিদ্যুৎচালিত সুরশলাকা ব্যবহারের দক্ষতা অর্জন করবেন।

2.2 টানা সুতায় স্থানুতরঙ্গ

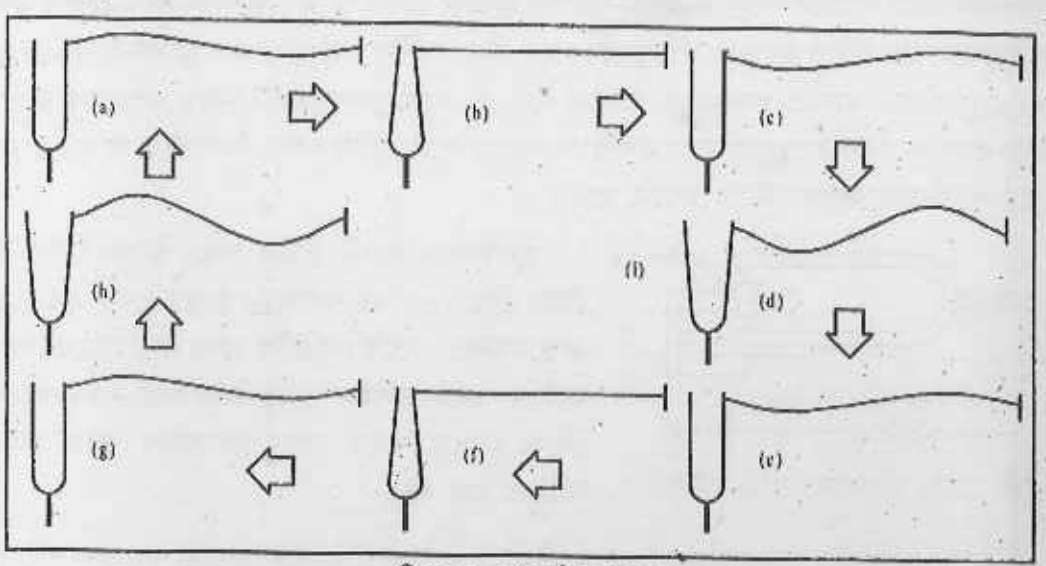
মূলতত্ত্ব ঃ কোন সুতা বা নমনীয় তারের টান যদি T হয় এবং সেটির একক দৈর্ঘ্য পিছু ভর যদি m হয় তবে সেটিতে অনুপ্রস্থ তরঙ্গের বেগ হয় $V = \sqrt{\frac{T}{m}}$ । মেল্‌ডির পরীক্ষায় সুতার এক প্রান্ত বিদ্যুৎচালিত সুরশলাকার ডাঁটির সঙ্গে যুক্ত থাকে। সুরশলাকার কম্পাঙ্ক যদি n হয় তবে সুতায় অনুপ্রস্থ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে $\lambda = \frac{V}{n} = \frac{1}{n}\sqrt{\frac{T}{m}}$ । সুতাটিতে অনুপ্রস্থ স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি হলে পর পর দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর (node) মধ্যে সুতাটি একটি খণ্ডে বা লুপে (loop) কম্পিত হয়, যার দৈর্ঘ্য হয়—

$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{1}{2n}\sqrt{\frac{T}{m}} \qquad \ldots 2.1$$



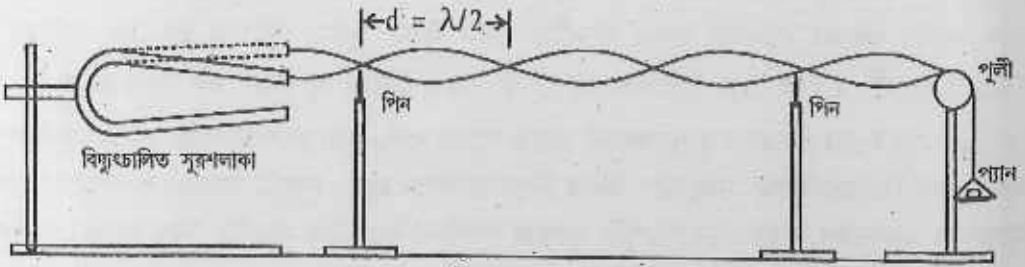
চিত্র 2.1 : অনুপ্রস্থ কম্পন

টান দেওয়া সুতায় স্থানুতরঙ্গের উৎপাদন : সুতাটিকে কম্পিত করার জন্য সুরশলাকাটিকে দুটি ভিন্ন অবস্থায় রাখা যায়। এর প্রথমটিতে (চিত্র 2.1, a-e) সুরশলাকার ডাঁটি সুতার দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমকোণে কম্পিত হয়। এখানে 2.1 (a) থেকে (e) চিত্রে কম্পনের একটি সম্পূর্ণ পর্যায় দেখানো হয়েছে। সুতার যে প্রান্ত সুরশলাকার সঙ্গে যুক্ত, অনুনাদী অবস্থায় সেখানে একটি সুস্পন্দ বিন্দু (antinode) থাকে। সুতার অপর প্রান্ত একটি ঘর্ষণহীন পুলির উপর দিয়ে ঝোলানো থাকে। সেটির সঙ্গে সংলগ্ন প্যানের উপর ওজন রেখে সুতার টান ইচ্ছামত কমানো বাড়ানো যায় (চিত্র 2.3)। সুতাটির এই প্রান্ত কম্পিত হতে পারে না তাই এই প্রান্তে একটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকে। সুরশলাকার কম্পনের একটি পর্যায়ে সুতার স্থাণুতরঙ্গেরও একটি সম্পূর্ণ পর্যায় সমাপ্ত হয়।



চিত্র 2.2 : অনুদৈর্ঘ্য কম্পন

সুরশলাকার দ্বিতীয় অবস্থানে সেটির ডাঁটি সুতার দৈর্ঘ্যের সমান্তরালে কম্পিত হয়। চিত্র 2.2 (a-h) তে সুরশলাকার কম্পনের দুটি পূর্ণ পর্যায় দেখানো হয়েছে। লক্ষ্য করুন যে এক্ষেত্রে সুতার দু প্রান্তেই নিস্পন্দ বিন্দু থাকে এবং অনুনাদী অবস্থায় সুতাটিতে পূর্ণসংখ্যক খণ্ড থাকে। সুরশলাকার দুটি কম্পনের সময়ে তরঙ্গের একটি পর্যায়কাল পূর্ণ হয়।

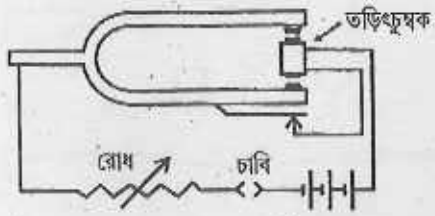


চিত্র 2.3(a)

2.1 সূত্রে সুতার টান (T) ইচ্ছামত কমবেশি করা যায়, একক দৈর্ঘ্যের ভর m এবং এক এক খণ্ডের দৈর্ঘ্য d সহজেই মাপা যায়। তখন আপনি 2.1 সূত্রটি দুভাবে ব্যবহার করতে পারেন। সুরশলাকার কম্পাঙ্ক n অজ্ঞাত থাকলে আপনি তার মান বার করতে পারেন। অথবা কম্পাঙ্কটি জানা থাকলে আপনি 2.1 সূত্রের সত্যতা প্রতিপাদন করতে পারেন। এখানে আমরা দুভাবেই পরীক্ষাটির বিবরণ দেব।

2.3 সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়

প্রয়োজনীয় যন্ত্রসজ্জা ঃ 2.3 চিত্রে প্রয়োজনীয় যন্ত্রসজ্জাটি দেখানো হয়েছে। এখানে একটি বিদ্যুৎচালিত সুরশলাকা ভারি স্ট্যান্ডের সঙ্গে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ আছে। সুরশলাকাটি সাধারণত একটি তড়িৎচুম্বক দিয়ে চালিত হয় এবং তড়িৎচুম্বকের মধ্য দিয়ে বর্তনীর পর্যাবৃত্ত গঠন ও ছেদনের (make and break) সাহায্যে অনিয়ত তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হয়। এর ফলে সুরশলাকারটি নিজস্ব কম্পাঙ্কে কম্পিত হতে থাকে তবে তড়িৎপ্রবাহের মাধ্যমে শক্তি সরবরাহের ফলে সেটির কম্পন অবমন্দিত হয় না। 2.3(a) চিত্রে সুরশলাকার তড়িৎবর্তনীটি দেখানো হয়েছে।



চিত্র 2.3(b) : সুরশলাকার বর্তনী ব্যাটারী

সুরশলাকার একটি ডাঁটির সঙ্গে কয়েক মিটার দীর্ঘ মিটার পিছু 1gm এর কাছাকাছি ভরের একটি সুতার এক প্রান্ত আটকানো থাকে। সুতাটির অপর প্রান্ত স্ট্যান্ডের সঙ্গে লাগানো একটি ঘর্ষণহীন পুলির উপর দিয়ে যায় এবং সেটি থেকে ঝুলানো প্যানে কয়েক কিলোগ্রাম পর্যন্ত ওজনের বাটখারা রাখা হয়।

এছাড়া পরীক্ষাটির জন্য প্রয়োজন তুলাদণ্ড, স্ট্যান্ডের উপর রাখা ওঠানামা করানো যায় এমন দুটি পিন, মিটার স্কেল ও মাপের ফিতা ($^1/_2\,cm$ দাগের)।

2.3.1 পরীক্ষার পদ্ধতি

সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে নিচের ধাপগুলির অনুসরণ করুন।

(i) পরীক্ষায় ব্যবহার করার সুতাটি খুলে নিন এবং মাপের ফিতার সাহায্যে সেটির দৈর্ঘ্য মাপুন। সুবিধার জন্য একই সুতার রিল থেকে অন্য একটি সুতার নমুনা ব্যবহার করতে পারেন। তুলাদণ্ডে সুতাটি ওজন করুন। ওজনের বাটখারা রাখার প্যানটিও ওজন করুন। সুতার দৈর্ঘ্য ও ভর এবং প্যানের ভর সারণিতে (সারণি 2.1 ও 2.2) লিপিবদ্ধ করুন এবং একক দৈর্ঘ্য পিছু সুতার ভর নির্ণয় করুন।

(ii) এবারে 2.3 চিত্রের মত সুরশলাকা, স্ট্যান্ড সমেত পুলি, সুতা ও প্যান সাজিয়ে নিন। সুরশলাকার ডাঁটি সুতার দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমকোণে উপর নিচে কম্পিত হবে। সুতাটি অনুভূমিক থাকবে। পিনের স্ট্যান্ডগুলি এমনভাবে রাখুন যেন পিনগুলি সুতাকে স্পর্শ না করে ঠিক সুতাটির নিচে থাকে। সুরশলাকা থেকে পুলি পর্যন্ত সুতার দৈর্ঘ্য 2-3 মিটার রাখুন।

(iii) সুরশলাকার তড়িৎ বর্তনীটির চাবি বন্ধ করুন এবং প্রয়োজন হলে শলাকাটিতে অল্প জোরে আঘাত করে সেটিকে কম্পিত করুন। লক্ষ্য রাখুন, যাতে সুরশলাকার স্বাভাবিক অবস্থায় বর্তনীটিতে তড়িৎপ্রবাহ চালু হয় এবং কম্পনের ফলে ডাঁটিগুলি পরস্পরের কাছাকাছি হলেই বর্তনী ছিন্ন হয়।

(iv) প্যানের উপর ওজনের বাটখারা রাখুন এবং ক্রমশ ওজন বাড়াতে থাকুন যতক্ষণ না সুতায় দুটি নিস্পন্দ বিন্দু এবং সেগুলির মধ্যে কয়েকটি স্পন্দিত খণ্ড বা লুপ দেখা যায়। পুলির স্ট্যান্ডটিকে সামান্য আগুপিছু করে স্পন্দনের বিস্তার যথাসম্ভব বাড়ানোর চেষ্টা করুন। যখন বিস্তার সর্বাধিক হবে তখন অনুনাদ ঘটেছে বলে ধরে নেওয়া যায়। পিনের স্ট্যান্ডগুলি সরিয়ে পিনগুলিকে সবচেয়ে দূরবর্তী দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর ঠিক নিচে আনুন। এবার সুরশলাকার তড়িৎবর্তনীর চাবি খুলে দিন এবং স্কেলের সাহায্যে পিনের মাথা দুটির মধ্যে দূরত্ব মাপুন। দূরত্ব 1 মিটারের বেশি হলে মাপের ফিতা ব্যবহার করুন। নিস্পন্দ বিন্দুগুলির মধ্যে লুপের সংখ্যা, সে দুটির মধ্যে দূরত্ব ও প্যানে চাপানো ওজন সারণিতে (সারণি 2.2) লিপিবদ্ধ করুন। পরীক্ষার এই ধাপটির অন্তত আরও একবার পুনরাবৃত্তি করুন।

(v) প্যানে ওজন বৃদ্ধি করুন যতক্ষণ না সুতায় আবার নিস্পন্দ বিন্দু এবং সেগুলির মধ্যে কয়েকটি লুপ দেখা যায়। এবার (iv) অংশে বর্ণিত পদ্ধতি অনুসরণ করে দুটি দূরবর্তী নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব এবং সেগুলির লুপের সংখ্যা সারণিতে লিখুন। লক্ষ্য রাখুন এখন সুতার টান আগের চেয়ে বেশি হওয়ার তরঙ্গ বেগ, তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও প্রতিটি লুপের দৈর্ঘ্য আগের চেয়ে বেশি হবে এবং সুতায় লুপের সংখ্যা আগের চেয়ে কম হবে। সুতায় দুটি সুস্পন্দ বিন্দু ও তাদের মধ্যে একটি লুপ পাওয়া পর্যন্ত পদ্ধতিটি চলতে পারে।

এইভাবে আপনি সুতায় টান বাড়িয়ে আরও কম সংখ্যক লুপ উৎপন্ন করে সেগুলির দৈর্ঘ্য নির্ণয় করতে পারেন। লুপগুলির গড় দৈর্ঘ্য অর্ধ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সমান। এখন 2.1 সূত্রের সাহায্যে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যাবে, কেননা—

$$n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{2d}\sqrt{\frac{T}{m}} \qquad \ldots 2.2$$

(vi) এবার সুরশলাকাটিকে দ্বিতীয় অবস্থানে রেখে পরীক্ষাটি করে দেখুন। সুরশলাকাটিকে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে 2.2 চিত্রগুলোতে দেখানো অবস্থানে রাখুন যাতে শলাকার ডাঁটি সুতার দৈর্ঘ্যের সমান্তরালে কম্পিত হয়। সুতায় তরঙ্গদৈর্ঘ্য এখন পূর্বের পরীক্ষার তুলনায় বেশি হবে কেননা তরঙ্গের কম্পাঙ্ক এখন সুরশলাকার কম্পাঙ্কের অর্ধেক মাত্র। আগের মত প্যানে রাখা ওজন ক্রমশ বাড়াতে থাকুন এবং স্ট্যান্ডসমেত পুলির অবস্থান উপযোজন করুন যতক্ষণ না সুতাটির সুস্পন্দ বিন্দুগুলি সর্বাধিক বিস্তারে কম্পিত হয়, অর্থাৎ সুতায় অনুনাদের সৃষ্টি হয়। আগের মত সবচেয়ে দূরবর্তী দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব মাপুন এবং সারণিতে (2.3) নিস্পন্দ বিন্দুগুলির মধ্যে দূরত্ব, সেগুলির মধ্যে লুপের সংখ্যা ও প্যানে চাপানো ওজন লিখুন।

(vii) প্যানে চাপানো ওজন বাড়ান এবং (vi) অংশের পদ্ধতির পুনরাবৃত্তি করুন। আগের মত দুটি স্পষ্ট সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে একটি লুপ গঠিত হওয়া পর্যন্ত আপনি এই পুনরাবৃত্তি চালাতে পারেন। এক্ষেত্রেও

লুপগুলির গড় দৈর্ঘ্য d অর্ধ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সমান তবে তরঙ্গের সুরশলাকার কম্পাঙ্কের অর্ধেক। অর্থাৎ এক্ষেত্রে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক হবে—

$$n=\frac{2}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}}=\frac{1}{d}\sqrt{\frac{T}{m}} \qquad \ldots 2.3$$

এই পরীক্ষায় উপাত্তগুলি লেখার জন্য সারণিগুলি নিচে দেওয়া হল।

সারণি 2.1

সুতার দৈর্ঘ্য ও ভর, প্যানের ভরের পরিমাপ

পরিমাপের বস্তু	দৈর্ঘ্য cm	গড় দৈর্ঘ্য l_1 (m)	ভর (gm)	গড় ভর (m_1) (kg)	একক দৈর্ঘ্যের ভর $\frac{m_1}{l_1}=m(kgm^{-1})$
সুতা		.....	.....	.....	.....
প্যান				.....	.....

সারণি 2.2

সুরশলাকার অনুপ্রস্থ কম্পনের পর্যবেক্ষণ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্যানে চাপানো বাটখারার ভর M (kg)	দুটি পিনের মধ্যে দূরত্ব (L) (m)	দুটি পিনের মধ্যে লুপের সংখ্যা (s)	লুপের গড় দৈর্ঘ্য $d=L/s$ (m)	$n=\frac{1}{2d}\sqrt{\frac{(M+M_0)g}{m}}$ (Hz)	গড় কম্পাঙ্ক (Hz)
(i)	.....	.....	.....	.....	.....	.....
(ii)	.....	.....	.....	.....	.....	.....
(iii)	.....	.....	.....	.....	.....	.....

সারণি 2.3

সুরশলাকার অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের পর্যবেক্ষণ

(এই সারণিটি 2.2 সারণির অনুরূপ হবে তবে ষষ্ঠ কলমে $n=\frac{1}{d}\sqrt{\frac{(M+M_0)g}{m}}$ (Hz) গণনা করে লিখতে হবে)

অনুপ্রস্থ ও অনুদৈর্ঘ্য কম্পন থেকে প্রাপ্ত গড় কম্পাঙ্ক = ...Hz

2.4 টানা সুতায় তরঙ্গাবেগের সূত্রের প্রতিপাদন

এর আগের অনুচ্ছেদে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়ের পরীক্ষা পদ্ধতিটি আপনি শিখে নিয়েছেন। 2.2 সারণিতে আপনি যে উপাত্তগুলি লিপিবদ্ধ করেছেন, সেগুলির সাহায্যে আপনি আরও একটি পরীক্ষা করতে পারেন। এটি হল টানা সুতায় তরঙ্গাবেগের সূত্র $V=\sqrt{T/m}$ সূত্রের প্রতিপাদন।

সুরশলাকার অনুপ্রস্থ কম্পনের ক্ষেত্রে আমরা যে 2.2 সূত্রটি পেয়েছি সেটিকে আপনি লিখতে পারেনঃ $d^2=kT$, যেখানে $k=\frac{1}{4n^2m}$। যদি একই সুতা ও সুরশলাকার ব্যবহার করা হয় তবে n ও m ধ্রুবক এবং d^2 ও T সমানুপাতী। অনুরূপভাবে সুরশলাকার অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের ক্ষেত্রেও 2.3 সূত্র অনুযায়ী d^2 ও T সমানুপাতী যদিও এক্ষেত্রে সমানুপাত ধ্রুবকটি $k'=\frac{1}{n^2m}$। যে কোনও ধরনের কম্পনের ক্ষেত্রেই d^2-T লেখচিত্র অঙ্কন করলে সেটি যদি মূলবিন্দুর মধ্য দিয়ে সরলরেখা হয় তবে তরঙ্গাবেগের সূত্রটি সত্য বলে প্রতিপন্ন হবে।

2.4.1 পরীক্ষা পদ্ধতি

এই পরীক্ষার পদ্ধতি ইতিমধ্যেই 2.3.1 অংশে বর্ণিত হয়েছে। সারণি 2.2 ও 2.3 এর উপাত্তগুলি ব্যবহার করে নিচের 2.4 সারণি পূর্ণ করুন।

সারণি 2.4

T - d^2 লেখ অঙ্কন

সুরশলাকার কম্পনের ধরন	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	$T=(M+M_0)g$ (N)	d (m)	d^2 (m^2)
অনুপ্রস্থ	i)	.....	.....	.....
	ii)	.....	.....	.....
	iii)	.....	.....	.....
অনুদৈর্ঘ্য	i)	.....	.....	.....
	ii)	.....	.....	.....
	iii)	.....	.....	.....

গ্রাফ কাগজে অনুভূমিক দিকে T (নিউটন এককে) এবং উলম্ব দিকে d^2 (বর্গমিটার এককে) প্লট করুন। অনুপ্রস্থ কম্পনের বিন্দুগুলির মধ্যে দিয়ে একটি এবং অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে একটি মানানসই সরলরেখা অঙ্কন করুন যেগুলি অবশ্যই মূলবিন্দুর মধ্য দিয়ে যাবে। আপনার অঙ্কিত বিন্দুগুলি

যদি মোটামুটিভাবে, অর্থাৎ ত্রুটির সীমার মধ্যে সরলরেখা দুটির উপর পড়ে তবে তরঙ্গাবেগের সূত্রটি প্রতিপন্ন হল বলে ধরা যেতে পারে।

একাধিক বিভিন্ন কম্পাঙ্কের সুরশলাকা এবং বিভিন্ন বেধের সুতা ব্যবহার করে এই পরীক্ষাটি আরও বিস্তৃতভাবে করা সম্ভব। তবে সেক্ষেত্রে পরীক্ষাটি করতে আপনার অনেক বেশি সময় লাগবে।

2.5 সারাংশ

এই এককে বর্ণিত পরীক্ষায় আপনি বিদ্যুৎচালিত সুরশলাকার সাহায্যে একটি টান দেওয়া সুতায় স্থাণুতরঙ্গ উৎপাদন করে সুতার বিভিন্ন টানের জন্য নিস্পন্দ বিন্দুগুলির ব্যবধান মেপেছেন। এই ব্যবধান সুতায় অনুপ্রস্থ তরঙ্গের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক। সুতায় একক দৈর্ঘ্যের ভর মেপে আপনি সুরশলাটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে পেরেছেন কেননা সুতার টান সুতায় ঝোলানো প্যান ও তার উপর রাখা বাটখারার ওজনের সমান। পরীক্ষাটিতে সুরশলাকাটিতে দুভাবে কম্পিত করার কথা বলা হয়েছে—সুতার দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমকোণে এবং সমান্তরালে।

সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়ের জন্য যে উপাত্তগুলি আপনি সংগ্রহ করেছেন সেগুলির সাহায্যে আপনি টানা সুতায় অনুপ্রস্থ তরঙ্গাবেগের সূত্রটির সত্যতাও প্রতিপাদন করতে পারেন। এজন্য সুতার টানের সঙ্গে পরপর দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর গড় ব্যবধানের বর্গটিকে লেখচিত্রে প্লট করেছেন। সুরশলাকার যে কোন ধরনের কম্পনের জন্য অঙ্কিত বিন্দুগুলি মোটামুটিভাবে মূলবিন্দুর মধ্য দিয়ে আঁকা সরলরেখার উপর পড়ে। এর দ্বারা তরঙ্গাবেগের সূত্রটির সত্যতা প্রতিপন্ন হয়।

সুরশলাকা ও টান দেওয়া সুতার উপর এই পরীক্ষাটি মেল্‌ডি-র পরীক্ষা নামে পরিচিত।

2.6 প্রশ্নাবলি

(i) সুরশলাকার কম্পন যখন অনুপ্রস্থ তখন ওজন রাখার প্যানে 2.2 kg ওজনের বাটখারা চাপিয়ে অনুনাদী অবস্থায় সুতায় দুটি সম্পূর্ণ লুপ দেখা গেল। প্যানে কত ওজন রাখা হলে তিনটি সম্পূর্ণ লুপ দেখা যাবে? প্যানের ভর 0.25 kg দেওয়া আছে।

(ii) একটি সুরশলাকা অনুদৈর্ঘ্যভাবে কম্পিত হয়ে 2 m দীর্ঘ 5 gm ভরের একটি সুতায় স্থাণুতরঙ্গ উৎপন্ন করেছে। সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 80 Hz। সুতরাং টান সর্বোচ্চ কত হলে স্থাণুতরঙ্গ উৎপন্ন হবে?

(iii) নিচের প্রশ্নগুলির সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ

(a) এই পরীক্ষায় সুস্পন্দ বিন্দুগুলির মধ্য দূরত্ব না মেপে নিস্পন্দ বিন্দুগুলির মধ্যে দূরত্ব মাপা হয় কেন?

(b) উচ্চ কম্পাঙ্কের (~500Hz) সুরশলাকা ব্যবহার করলে এই পরীক্ষায় কী অসুবিধা হবে?

(c) 2.4.1 অংশ বর্ণিত পরীক্ষা পদ্ধতিতে আপনি দুটি সরলরেখা লেখ অঙ্কন করেছেন। এই রেখা দুটির নতির অনুপাত কত হওয়া উচিত?

(d) এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত পুলিটি মসৃণ হওয়া প্রয়োজন কেন?

2.7 উত্তরমালা

(i) ধরুন, যখন দুটি সম্পূর্ণ লুপ দেখা যায় তখন লুপের দৈর্ঘ্য d এবং সুতার টান T। অনুরূপভাবে যখন তিনটি সম্পূর্ণ লুপ দেখা যায় তখন লুপের দৈর্ঘ্য d'এবং সুতার টান T', যেহেতু পূর্ণসংখ্যাক লুপ ছাড়াও সুরশলাকা ও প্রথম নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে অর্ধেক লুপের দৈর্ঘ্য থাকবে। অতএব সুতার মোট দৈর্ঘ্য

$2\frac{1}{2}.d = 3\frac{1}{2}.d'$ অর্থাৎ $\frac{d}{d'} = \frac{7}{5}$।

2.2 সূত্র থেকে, কম্পাঙ্ক যেখানে $= \frac{1}{2d}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{2d'}\sqrt{\frac{T'}{m}}$ অর্থাৎ $= \frac{d}{d'} = \sqrt{\frac{T}{T'}} = \sqrt{\frac{(2.2+0.25)g}{(M+0.3)g}}$

সেখানে M নির্ণেয় ভর।

$\therefore \frac{2.45}{M+3} = \left(\frac{d}{d'}\right)^2 = \frac{49}{25}$; সমাধান করে $M = 0.95\,kg$

সুতরাং প্যানে 0.95kg ভর রাখতে হবে।

(ii) এখানে সমস্ত সুতাটি যখন একটি লুপে কম্পিত হবে তখনই তরঙ্গদৈর্ঘ্য, তরঙ্গের বেগ এবং সুতার টান সর্বোচ্চ হবে। 2.3 সূত্রে $n = 80Hz$, $d = 2\,m$, $m = 0.005/2 = 0.0025 kgm^{-1}$ লিখে পাবেন

$T = n^2d^2m = 80^2 \times 2^2 \times 0.0025 = 64\,N$ বা প্রায় 6.5 kg ওজন।

(iii) (a) সুস্পন্দ বিন্দুগুলির অবস্থান চোখে দেখে সঠিকভাবে নির্দিষ্ট করা যায় না, তাই সুস্পন্দ বিন্দুগুলির মধ্যে দূরত্ব মাপলে তার ত্রুটি অনেক বেশি হবে। নিস্পন্দ বিন্দুগুলির অবস্থান অপেক্ষাকৃত সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায় বলে সেগুলির মধ্যে দূরত্ব মাপা হয়।

(b) উচ্চ কম্পাঙ্কের সুরশলাকার ব্যবহার করলে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও সুতায় লুপের দৈর্ঘ্য অত্যন্ত কম হবে। উপরন্তু এ ধরনের সুরশলাকার কম্পনের বিস্তার অত্যন্ত অল্প হয়। এসবের ফলে স্থাণুতরঙ্গ গঠিত হলেও তার পর্যবেক্ষণ অত্যন্ত দুরূহ হয়।

(c) 2.4 অংশে দেখেছেন যে সুরশলাকার অনুপ্রস্থ ও অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের ক্ষেত্রে d^2 - T লেখচিত্রের সরলরেখা দুটির নতি যথাক্রমে $k = \frac{1}{4n^2m}$ এবং $k' = \frac{1}{n^2m}$। সুতরাং দুটি সরলরেখার নতির অনুপাত

$\frac{k}{k'} = \frac{1}{4}$।

(d) পুলিটির একদিকে পরীক্ষাধীন সুতা এবং অন্যদিকে বাটখারা সমেত প্যান ঝোলানো আছে। পুলিটি মসৃণ না হলে সেটির দুদিকে সুতার টান সমান না হতে পারে, ফলে পরীক্ষাধীন সুতার টান বাটখারা সমেত প্যানের ওজন থেকে ভিন্ন হতে পারে।

একক 3 □ কৈশিক নলে জলের প্রবাহ ও জলের সান্দ্রতা

গঠন

3.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য

3.2 কৈশিক নলে সান্দ্র তরলের প্রবাহ

3.2.1 জলের সান্দ্রতা নির্ণয়

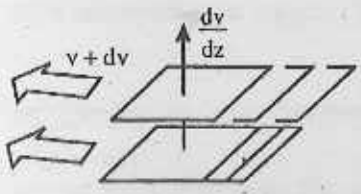
3.3 সারাংশ

3.4 প্রশ্নাবলি

3.5 উত্তরমালা

3.1 প্রস্তাবনা

আপনি সান্দ্রতার সঙ্গে পরিচিত হয়েছেন। আপনি দেখেছেন যে প্রবহমান তরল বা গ্যাসের মধ্যে যখন পাশাপাশি এক একটি স্তরের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ থাকে তখন একটি স্তর সন্নিহিত স্তরের উপর একটি স্পার্শক পীড়ন প্রয়োগ করে। এই পীড়ন সর্বদাই আপেক্ষিক বেগকে প্রশমিত করতে চায়। নিউটনীয় তরলের ক্ষেত্রে এই পীড়ন আপেক্ষিক বেগের নতিমাত্রার সমানুপাতী হয় এবং এই সমানুপাত ধ্রুবককে ঐ তরলের 'সান্দ্রতাঙ্ক' বা কেবল, 'সান্দ্রতা' বলা হয়। z ও $z+dz$ তলে প্রবাহের বেগ যদি যথাক্রমে v ও $v+dv$ হয় তবে আপেক্ষিক বেগের নতিমাত্রা $\frac{dv}{dz}$, স্পার্শক পীড়ন $S=\eta\frac{dv}{dz}$ লিখলে সমানুপাত ধ্রুবক 'η'-ই তরলের সান্দ্রতা নামে অভিহিত হয়।



চিত্র 3.1

সান্দ্রতা মাপার যে কোন যান্ত্রিক ব্যবস্থাকে আমরা ভিসকোমিটার (viscometer) বলি। যে ভিসকোমিটারের সাহায্যে আমরা ঐ যান্ত্রিক ব্যবস্থার বিভিন্ন স্থিতিমাপ (parameter) এবং পরীক্ষায় সংগৃহীত উপাত্তের হিসাবে সান্দ্রতার মান নির্ণয় করতে পারি, তাকে নিরপেক্ষ (absolute) ভিসকোমিটার বলে। অপরপক্ষে শিল্পে ও ব্যবসায়ে কোন তরলের সান্দ্রতা দ্রুত নির্ণয় করার জন্য আপেক্ষিক (relative) ভিসকোমিটার ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্র একটি বা দুটি তরলের আগে থেকেই জানা সান্দ্রতার সঙ্গে পরীক্ষাধীন তরলের সান্দ্রতার তুলনা করে।

এই এককে আপনি কৈশিক নলে জলের প্রবাহের পরিমাপ থেকে সান্দ্রতা নির্ণয় করতে শিখবেন। এক্ষেত্রে অন্য কোন তরলের সান্দ্রতা জানার প্রয়োজন থাকবে না, সুতরাং এটি একটি নিরপেক্ষ ভিসকোমিটার।

উদ্দেশ্য

এই পরীক্ষার মাধ্যমে আপনি কৈশিক নলে জলের প্রবাহ সম্বন্ধে যে ধারণা অর্জন করবেন তার দ্বারা জলের সান্দ্রতা, কৈশিক নলের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ ও সেটির দুই প্রান্তে চাপের প্রভেদ জলের প্রবাহের হারকে কীভাবে প্রভাবিত করে তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন। এ ছাড়াও আপনি কতকগুলি পরীক্ষাগত দক্ষতা অর্জন করবেন, যেগুলি হল ঃ

- স্থিরতল জলধারের (constant level tank) সাহায্যে সমান চাপে কৈশি নলে জলপ্রবাহ উৎপন্ন করা,
- স্টপওয়াচ ও আয়তন-মাপক সিলিন্ডারের সাহায্যে কৈশিক নলে জলপ্রবাহের হার পরিমাপ করা,
- ট্রাভেলিং মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে কৈশিক নলটির প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ মাপা।

সাধারণভাবে বলা যায়, এই পরীক্ষাটির মাধ্যমে আপনি জলপ্রবাহ নিয়ন্ত্রণ ও 1mm বা তার চেয়েও সূক্ষ্ম বস্তুর পরিমাপের দক্ষতা লাভ করবেন যা আপনার ভবিষ্যতে খুবই কাজে লাগবে।

3.2 কৈশিক নলে সান্দ্র তরলের প্রবাহ

মূলতত্ত্ব ঃ যখন কোন তরল একটি কৈশিক নলের মধ্যে শান্তভাবে, স্থির প্রবাহরেখায় (streamline) প্রবাহিত হয় তখন প্রবাহের হার, অর্থাৎ একক সময়ে প্রবাহিত তরলের আয়তন।

$$Q = \frac{\pi P a^4}{8 l \eta} \qquad ....3.1$$

যেখানে P = কৈশিক নলের দুইপ্রান্তের মধ্যে চাপের প্রভেদ, a = কৈশিক নলের যথাক্রমে প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ ও l = নলের দৈর্ঘ্য, η = তরলের সান্দ্রতা। যে চাপের প্রভেদের ফলে কৈশিক নলে তরলের প্রবাহের সৃষ্টি হয় তা যদি h উচ্চতার জলস্তম্ভের দ্বারা উৎপন্ন হয় তবে $P = h\rho g$ লেখা যায়, যেখানে ρ = জলের ঘনত্ব, g = অভিকর্ষজ ত্বরণ। এই সম্পর্কটি ব্যবহার করে 3.1 সূত্র থেকে পাওয়া যায় $Q = \frac{\pi a^4 h\rho g}{8l\eta}$ বা

$$\eta = \frac{\pi a^4 h\rho g}{8lQ} \qquad ....3.2$$

এই সূত্রের নাম পোয়াস্যোই সমীকরণ (Poiseuille's equation)।

3.2 সূত্রটি তখনই খাটে যখন কৈশিক নল থেকে নির্গত জলের গতিশক্তি উপেক্ষা করা যায়। অন্যথায় সূত্রটির শুদ্ধি সমেত লেখা যায়

$$Q = \frac{\pi a^4 \rho g}{8\eta l}\left(h - \frac{kQ^2}{\pi^2 a^4 g}\right) \text{ বা } \frac{h}{Q} = \frac{8\eta l}{\pi a^4 \rho g} + \frac{k}{\pi^2 a^4 g} Q \qquad ....3.3$$

যেখানে k একটি সংখ্যা, যার মান পরীক্ষায় ব্যবহৃত যন্ত্রব্যবস্থার উপর নির্ভর করে। k রাশির মান সাধারণত 1 এর কাছাকাছি হয়।

3.2 সমীকরণ থেকে এটি স্পষ্ট যে গতিশক্তির জন্য শুধিটি উপেক্ষণীয় হলে h ও Q সমানুপাতী হবে। অর্থাৎ h এর সঙ্গে Q এর লেখ অঙ্কন করলে সেটি মূলবিন্দুর মধ্য দিয়ে সরলরেখা হবে। এই সরলরেখার যে কোনও বিন্দুর স্থানাঙ্ক (h, Q) থেকে 3.2 সূত্র ব্যবহার করে সান্দ্রতা η এর মান নির্ণয় করা যায় যদি কৈশিক নলের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদ ব্যাসার্ধ আপনার জানা থাকে।

তবে, 3.3 সূত্র থেকে বোঝা যায় যে প্রবাহের হার Q বেশি হলে h-Q এর সম্পর্কটি আর সরলরৈখিক থাকে না। এরফলে h-Q লেখটি Q এর অধিক মানে সরলরেখা থেকে বিচ্যুত হতে পারে। সেক্ষেত্রে লেখটির যে অংশ সরলরেখা, তার উপরের কোন বিন্দু থেকেই h ও Q এর মান গ্রহণ করে সান্দ্রতার মান গণনা করতে হবে।

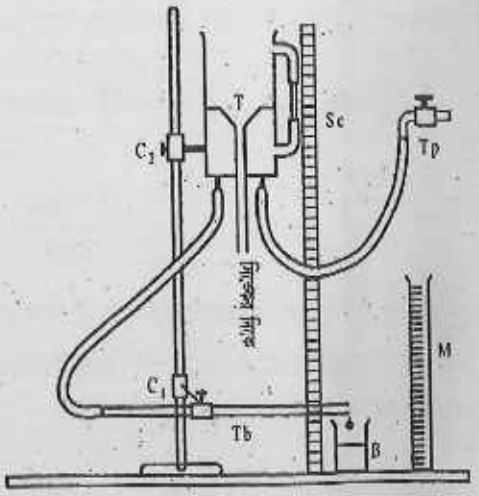
3.2.1 জলের সান্দ্রতা নির্ণয়

এই পরীক্ষাটিতে আমরা 3.2 সূত্রের সাহায্যে জলের সান্দ্রতা নির্ণয় করব। এরজন্য যে সব যন্ত্রপাতি লাগবে সেগুলি হল ঃ

একটি সুষম বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদের কৈশিক নল, নলটির মধ্যে জলের প্রবাহ সৃষ্টি করার জন্য স্থিরতল জলাধার এবং কৈশিক নলের তুলনায় অনেক মোটা রবারের নলের সাহায্যে জলাধার ও কৈশিক নলের সংযোগের ব্যবস্থা। কৈশিক নলে প্রবাহিত জল সংগ্রহ করার জন্য বীকার এবং তার আয়তন মাপার জন্য আয়তন মাপক সিলিন্ডার, স্টপওয়াচ বা স্টপক্লক, জলের উষ্ণতা মাপার জন্য থার্মোমিটার, ট্রাভেলিং মাইক্রোস্কোপ ও মিটার স্কেল (1mm দাগের)।

পরীক্ষা পদ্ধতি ঃ

এবার পরীক্ষার নিম্নোক্ত ধাপগুলি অনুসরণ করুন। (i) কৈশিক নলটি প্রথমে সাবান জল ও পরে পরিষ্কার জল দিয়ে ধুয়ে নিন। (ii) কৈশিক নল (Tb) ও স্থির তল জলাধারটি (T) 3.2 চিত্রের মত রবার নল দিয়ে সংযুক্ত করুন। জলাধারটিতে জলের কল (TP) থেকে জল আসবে, জলাধারের নির্গম নল দিয়ে কৈশিক নলে জল যাবে এবং উদ্বৃত্ত জল জলাধারের মধ্যে ফানেলের নির্গম নল দিয়ে জলের সিঙ্কের দিকে বেরিয়ে যাবে। যদি পরীক্ষাগারে জলের নলের পরিবর্তে একটি জলের আধার ব্যবহার করা হয় তবে ফানেলের মধ্য দিয়ে বার হওয়া জল একটি পাত্রে ধরে তা আবার ঐ আধারে ঢেলে দেওয়া যেতে

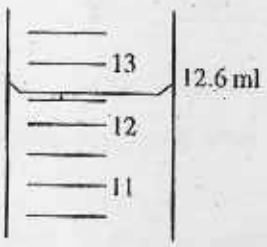


চিত্র 3.2

পারে। কৈশিক নলটি C_2 ক্ল্যাম্প দিয়ে অনুভূমিক অবস্থায় ধরা থাকবে। তবে নল থেকে নির্গত জল যাতে নলের বাইরের তল বেয়ে প্রবাহিত হয়ে বীকারের মধ্যে পড়ে, সেজন্য নলটিকে সামনের দিকে সামান্য হেলানো অবস্থায় রাখা যেতে পারে অথবা নলের মুখের কাছে একটুকরা সুতা বেঁধে রাখা যেতে পারে।

(iii) জলের কল খুলে কৈশিক নলের মধ্য দিয়ে জল প্রবাহিত করুন। C_2 ক্ল্যাম্পের সাহায্যে স্থিরতল জলাধারটি এমন উচ্চতায় আনুন যাতে জলাধারের জলতল কৈশিক নলের উন্মুক্ত প্রান্ত থেকে 5cm এর মতো উচ্চতায় থাকে। জলাধারে সংলগ্ন কাচনল (G) এর মধ্যে জলতল আধারের ভিতরের জলতলের সঙ্গে একই উচ্চতায় থাকায়, আপনি কাচনলটি থেকেই জলাধারের ভিতর জলতলের অবস্থান বুঝতে পারবেন। এখন স্কেল (Sc) থেকে জলতলের উচ্চতা এবং কৈশিক নলের উন্মুক্ত প্রান্তের কেন্দ্রের উচ্চতা লিপিবদ্ধ করুন। বীকারটি সম্পূর্ণ খালি করে কৈশিক নলের উন্মুক্ত প্রান্তের নিচে বসান এবং সঙ্গে সঙ্গে স্টপওয়াচ চালু করুন। আয়তন মাপক সিলিন্ডারের যতটা আয়তন মাপা যায় তার কিছুটা কম জল বীকারে সংগৃহীত হওয়ার পর বীকার সরিয়ে নিন এবং সঙ্গে সঙ্গে স্টপওয়াচ বন্ধ করুন। বীকারের জল মাপক সিলিন্ডারে সাবধানে সবটুকু ঢালুন এবং সিলিন্ডারের অংশাঙ্কন থেকে জলের আয়তনের পাঠ নিন। প্রয়োজনে আপনি চোখের আন্দাজেও (eye estirmation) পাঠ নিতে পারেন (চিত্র 3.3)। পাঠ নেওয়ার সময় অবতল জলতলের সর্বনিম্ন বিন্দুর পাঠ নিতে হয়। সংগৃহীত জলের আয়তন এবং স্টপওয়াচে দেখানো সময় সারণিতে (সারণি 3.1) লিপিবদ্ধ করুন।

কৈশিক নলে জলপ্রবাহ সৃষ্টির জন্য একটি বিকল্প যন্ত্রব্যবস্থাও ব্যবহৃত হয়। এই ব্যবস্থাটি 3.6 চিত্রে দেখানো হয়েছে। এখানে একটি স্কেলের Sc) পাশে দাঁড় করানো দুটি উল্লম্ব কাচনলে জলস্তম্ভগুলি কৈশিক নলের (Tb) প্রবেশ ও নির্গম বিন্দু দুটিতে জলের চাপ নির্দেশ করে। ফলে এই দুই জলস্তম্ভের উচ্চতার প্রভেদই (h) চাপের পার্থক্যের নির্দেশক। এখানে স্থিরতল আধারের উচ্চতা বাড়িয়ে কমিয়ে এবং নির্গম নলে লাগানো একটি পিনচ্ কক্ খুলে বা আঁট করে জলের প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করা যায়। নির্গম নলটি একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় রেখেও পরীক্ষাটি করা যায়।



চিত্র 3.1

(iv) স্থির জলাধারের একই অবস্থানের জন্য উপরের প্রক্রিয়াটির অন্তত আরও একবার পুনরাবৃত্তি করুন। এবার জলাধারের উচ্চতা 4-5 cm বাড়ান এবং জলাধারের নতুন অবস্থানের জন্য অন্তত দুবার জল সংগ্রহ করে জলের আয়তন ও সংগ্রহের সময় লিপিবদ্ধ করুন। এইভাবে জলাধারের মোট ছয়-সাতটি অবস্থানের জন্য (iii) অংশে বর্ণিত প্রক্রিয়াটি সম্পন্ন করুন।

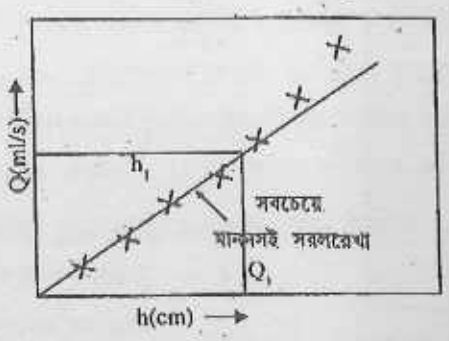
(v) এবার কৈশিক নলটি রবারের নল ও ক্ল্যাম্প থেকে খুলে নিন। কৈশিক নলটিকে মিটার স্কেলের পাশে রেখে সেটির বাম ও ডান প্রান্তের পাঠ নিন এবং উভয় পাঠের প্রভেদ থেকে কৈশিক নলের দৈর্ঘ্য l নির্ণয় করুন।

ব্যাস = 0.092 cm ব্যাস = 0.095 cm

চিত্র 3.4

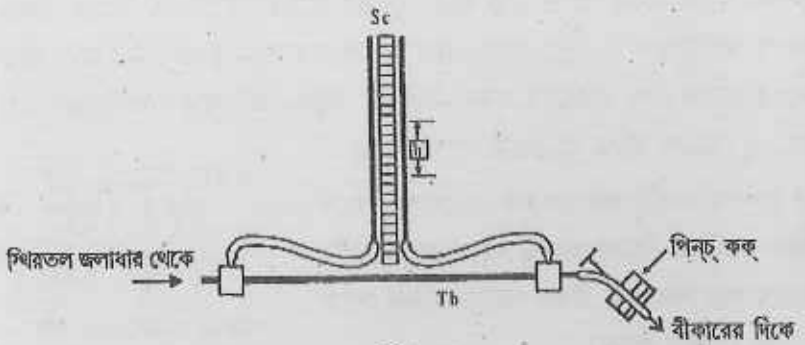
(vi) ট্রাভেলিং মাইক্রোস্কোপের আনুভূমিক ও উল্লম্ব স্কেলের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করুন। সাধারণত দুটির ক্ষেত্রে একটি থাকে। মাইক্রোস্কোপের আলোক—অক্ষটিকে সম্পূর্ণ অনুভূমিক রাখুন। ক্ল্যাম্পের সাহায্যে কৈশিক নলটিকে এমনভাবে আনুভূমিক অবস্থায় রাখুন যাতে সেটির একটি প্রান্ত মাইক্রোস্কোপের সঙ্গে সমাক্ষ ও সরাসরি সামনে থাকে। মাইক্রোস্কোপের অনুভূমিক ক্রস-তারটিকে কৈশিক নলের ভিতরের দেওয়ালের সঙ্গে উপর ও নিচের দিকে মিলিয়ে দুটি অবস্থায় উল্লম্ব স্কেলের পাঠ নিন। একইভাবে উল্লম্ব ক্রসতারটিকে কৈশিক নলের বাম ও ডানপাশের সঙ্গে মিলিয়ে অনুভূমিক স্কেলের পাঠ নিন। ক্রস-তারটিকে কীভাবে রাখতে হবে তা 3.4 চিত্রে দেখানো হয়েছে। উল্লম্ব স্কেলের পাঠ দুটির পার্থক্য থেকে উল্লম্ব ব্যাস ও অনুভূমিক স্কেলের পাঠ থেকে অনুভূমিক ব্যাস জানা যাবে। দুটির গড় নিয়ে ও অর্ধেক করে গড় ব্যাসার্ধ নির্ণয় করুন। এবার কৈশিক নলটি ক্ল্যাম্প থেকে খুলে অপর প্রান্ত ক্ল্যাম্পে আবদ্ধ করুন এবং আগের পদ্ধতিতে কৈশিক নলের অপর প্রান্তে ভিতরের দেওয়ালের গড় ব্যাসার্ধ নির্ণয় করুন। দুই গড় ব্যাসার্ধের মধ্যে পার্থক্য অধিক হওয়া উচিত নয়। দুই গড় মানের গড়টিকেই আপনি কৈশিক নলের প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ (a) হিসাবে লিপিবদ্ধ করুন। (সারণি 3.2)।

(vii) সারণি 3.1 এ h ও Q এর যে মানগুলি পেয়েছেন সেগুলি গ্রাফ কাগজে বসান এবং প্রাপ্ত বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে সবচেয়ে মানানসই মূলবিন্দুগামী সরলরেখাটি অঙ্কন করুন। লক্ষ্য করুন, এর h এর অধিক মানের বিন্দুগুলি এই সরলরেখার উপর থাকছে কিনা (চিত্র 3.5)। যদি না থাকে তবে বুঝতে হবে 3.3 সমীকরণে যে শুদ্ধির কথা বলা হয়েছে তার মান যথেষ্ট অধিক এবং সেক্ষেত্রে সরলরেখাটি অঙ্কনের সময় ঐ বিন্দুগুলিকে উপেক্ষা করতে হবে। এবার সরলরেখার উপর কোন একটি বিন্দুর স্থানাঙ্ক (h_1, Q_1) নির্ধারণ করুন।



চিত্র 3.5

(viii) পরীক্ষার আগে, পরীক্ষা চলাকালীন ও পরীক্ষার পর থার্মোমিটারের সাহায্যে স্থিরতল জলাধারের জলের উষ্ণতা মাপুন ও লিপিবদ্ধ করুন।



চিত্র 3.6

(ix) এখন আপনি

$$\eta = \frac{\pi}{8} \rho g \cdot \frac{a^4}{l} \cdot \frac{h_1}{Q_1}$$

সূত্রের সাহায্যে জলের সান্দ্রতা η-এর মান নির্ণয় করতে পারবেন। নিচে আপনার প্রয়োজনীয় সারণিগুলি (কাল্পনিক উপাত্তসহ) দেখানো হল।

সারণি 3.1

জলের প্রবাহের হারের পরিমাপ

কৈশিক নলের উচ্চতা y_1 (cm)	কাচনলে জলতলের উচ্চতা y_2(cm)	h (y_2-y_1) cm	সংগৃহীত জলের আয়তন V(ml)	সংগ্রহকাল t (s)	জলপ্রবাহের হার V/t mls^{-1}	জলপ্রবাহের গড় হার Q mls^{-1}
10.5	15.7	5.2	i) 2.9 ii) 3.9	i) 180 ii) 240	i) 0.0161 ii) 0.0163	0.0161
10.5	21.3	10.8	i) 5.9 ii) 9.9	i) 180 ii) 300	i) 0.0328 ii) 0.0330	0.0329

সারণি 3.2

কৈশিক নলের ব্যাসার্ধের পরিমাপ

ডার্নিয়ার স্কেল ব্যবহারের সারণী প্রস্তুত করে নিন

প্রান্ত 1						প্রান্ত 2					
উল্লম্ব ব্যাস (cm)			অনুভূমিক ব্যাস (cm)			উল্লম্ব ব্যাস (cm)			অনুভূমিক ব্যাস (cm)		
উপরের পাঠ	নিচের পাঠ	প্রভেদ	বামদিকের পাঠ	ডানদিকের পাঠ	প্রভেদ	উপরের পাঠ	নিচের পাঠ	প্রভেদ	বামদিকের পাঠ	ডানদিকের পাঠ	প্রভেদ
13.452	13.360	.092	6.114	6.209	.095	13.892	13.798	.094	8.213	8.309	.096

গড় ব্যাস = 0.094 cm, গড় ব্যাসার্ধ (a) = $0.047\,cm = 4.7 \times 10^{-4}\,m$

কৈশিক নলের দৈর্ঘ্য ঃ বামপ্রান্তের পাঠ = 13.4, ডান প্রান্তের পাঠ 74.6, দৈর্ঘ্য (L) = 61.2 cm = 0.612 m লেখচিত্র থেকে $h_1 = 20\,cm = 0.20\,m$, $Q_1 = .061\ m/S^{-1} = 6.1 \times 10^{-8}\,m^3S^{-1}$

নির্ণেয় সান্দ্রতা ঃ

$$\eta = \frac{\pi}{8} \times 10^3 \text{ kgm}^{-3} \times 9.8 \text{ ms}^{-2} \times \frac{(4.7\times10^{-4})^4}{0.612} \times \frac{0.20}{6.1\times10^{-8}}$$

$$= 9.6\times10^{-4} Nm^{-2}s^{-1} \quad \text{(S.I. একক)}$$

জলের উষ্ণতা (i) .....°c ii) ..... °c iii) .....°c

3.3 সারাংশ

এই এককে আপনি পোয়াস্যোই সমীকরণ ব্যবহার করে কৈশিকনলে জলের প্রবাহের হার পরিমাপ থেকে জলের সান্দ্রতা নির্ণয় করেছেন। কৈশিক নলের দুই প্রান্তে চাপের প্রভেদ সৃষ্টিকারী জলস্তম্ভের উচ্চতার সঙ্গে প্রবাহের হারের লেখ অঙ্কন করে কেবলমাত্র লেখের সরলরৈখিক অংশটি গণনার ব্যবহার করা হয়েছে। এর ফলে নির্ণীত দলের গতিশক্তিজনিত ত্রুটি এবং অশান্ত প্রবাহের প্রভাব এড়ানো সম্ভব হয়েছে।

এই পরীক্ষাটির মাধ্যমে আপনি স্থিরতল জলাধার ও ট্রাভেলিং মাইক্রোস্কোপের ব্যবহারের সঙ্গে পরিচিত হয়েছেন। সেই সঙ্গে তরলের সান্দ্রতা ধর্ম এবং চাপের প্রভেদের সঙ্গে তরলের প্রবাহের সমানুপাতিত্ব সম্বন্ধেও আপনি কিছুটা বাস্তব অভিজ্ঞতা অর্জন করেছেন।

3.4 প্রশ্নাবলি

(i) এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত কৈশিক নলের ব্যাসার্ধ সর্বত্র সমান না হলে কোন ক্ষতি হবে কি ?

(ii) আপনি থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের উষ্ণতা পরিমাপ করলেও সান্দ্রতার গণনায় এই উষ্ণতার প্রয়োজন হয় নি। এক্ষেত্রে উষ্ণতার পরিমাপের যৌক্তিকতা কী ?

(iii) 3.2 চিত্রে দেখানো পরীক্ষার ব্যবস্থায় স্থিরতল জলাধার ও কৈশিক নলের সংযোগকারী রবারের নলটি কৈশিক নলের তুলনায় বড়ো ব্যাসের হওয়া প্রয়োজন কেন ?

3.5 উত্তরমালা

(i) ধরুন কৈশিক নলের l_1, l_2, l_3..... দৈর্ঘ্যের প্রস্থচ্ছেদ ব্যাসার্ধ যথাক্রমে a_1, a_2, a_3.... ইত্যাদি যদি নলের মধ্যে η সান্দ্রতার তরলের প্রবাহের হার Q হয় তবে $Q = \frac{\pi p_1 a_1^4}{8 l_1 \eta} = \frac{\pi p_1 a_2^4}{8 l_2 \eta} = ...$ ইত্যাদি, যেখানে P_1, P_2 কৈশিক নলের এক একটি অংশের উপর চাপের প্রভেদ।

$\therefore$ মোট চাপের প্রভেদ $P = P_1 + P_2 + P_3 + ...$

$$= \frac{8\eta Q}{\pi}\left(\frac{l_1}{a_1^4} + \frac{l^2}{a_2^4} + \frac{l_3}{a_3^4} + ...\right) \quad = \frac{8\eta Q}{\pi}.\frac{l}{a^4}, \text{ ধরুন,}$$

যেখানে $a^{-4} = \frac{l_1}{l}a_1^{-4} + \frac{l_2}{l}a_2^{-4} + \frac{l_3}{l}a_3^{-4} + ...$

অর্থাৎ এখানে $a^{-4} = a_1^{-4}, a_2^{-4}, ...$ ইত্যাদির ভারিত গড় (weighted average)। কৈশিকনলটি সুষম না হলে প্রস্থচ্ছেদের কার্যকরী ব্যাসার্ধ a বার করা সম্ভব নয়, কাজেই অসম প্রসছচ্ছেদের কৈশিক নল দিয়ে এই পরীক্ষাটি করা যাবে না।

(ii) জলের উষ্ণতার পরিমাপ এক্ষেত্রে খুবই প্রয়োজনীয়, কেননা জলের সান্দ্রতা উষ্ণতার সঙ্গে দ্রুত পরিবর্তন হয়। উষ্ণতা পরিবর্তিত হতে থাকলে নির্ণেয় সান্দ্রতার মান বদলাতে থাকবে, h ও Q এর লেখ অনিয়মিত হবে এবং পরীক্ষার প্রাপ্ত ফল কোন স্বীকৃত মানের সঙ্গে মেলানো যাবে না। উষ্ণতা স্থির থাকছে কী না সেটির উপর লক্ষ্য রাখা এ জন্যই প্রয়োজন।

(iii) রবারের নল এবং কৈশিক নলে জলের প্রবাহ একই হয়। রবারের নলের উপর চাপের প্রভেদ যাতে কৈশিকের তুলনায় অল্প হয় সেজন্যই রবারের নলের প্রস্থচ্ছেদ ব্যাসার্ধ কৈশিকের তুলনায় বড়ো হওয়া দরকার।

একক 4 ☐ উত্তল ও অবতল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় ঃ স্থানান্তর ও যুগ্মিত পদ্ধতি

গঠন

4.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

4.2 ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের স্থানান্তর পদ্ধতি

4.2.1 স্থানান্তর পদ্ধতির মূলতত্ত্ব

4.2.2 পরীক্ষার যন্ত্রসজ্জা

4.2.3 পরীক্ষা পদ্ধতি

4.3 যুগ্মিত পদ্ধতি

4.3.1 যুগ্মিত পদ্ধতির মূলতত্ত্ব

4.3.2 পরীক্ষা পদ্ধতি

4.4 সারাংশ

4.5 প্রশ্নাবলি

4.6 উত্তরমালা

4.1 প্রস্তাবনা

লেন্সের সঙ্গে আমাদের সকলেরই অল্পবিস্তর পরিচয় আছে। চশমার কাঁচ ও ম্যাগনিফাইং গ্লাস হিসাবে আমরা প্রায়ই লেন্সের ব্যবহার করে থাকি। আবার ফটোগ্রাফির ক্যামেরা, প্রজেক্টর, টেলিস্কোপ, মাইক্রোস্কোপ এবং আমাদের চক্ষু—এগুলির প্রতিটির ক্ষেত্রেই এক বা একাধিক লেন্স একটি অপরিহার্য অংশ।

আপনার হয়ত জানা আছে যে লেন্স মূলত দু'ধরনের-উত্তল ও অবতল। বায়ুর মধ্যে কাঁচ বা প্লাস্টিকের তৈরি উত্তল ও অবতল লেন্স যথাক্রমে অভিসারী (converging) ও অপসারী (diverging) লেন্স হিসাবে কাজ করে। যে কোন ধরনের লেন্সের ক্ষেত্রেই তার সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ স্থিতিমাপ (parameter) হ'ল তার ফোকাস দৈর্ঘ্য। লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যের পরিমাপ আলোকবিদ্যার একটি অত্যন্ত প্রয়োজনীয় পরীক্ষা।

আপনি হয়ত প্রচলিত u-v পদ্ধতিতে লেন্স থেকে কোন বস্তু আর তার সদ্‌বিম্বের দূরত্ব মেপে উত্তল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় করেছেন। এই এককে আপনি আরও উন্নত একটি পদ্ধতিতে উত্তল লেন্সের

ফোকাস দৈর্ঘ্য মাপতে শিখবেন, যেটিকে বলা হয় স্থানান্তর পদ্ধতি (displacement method)। তবে u-v পদ্ধতির মতো এখানেও একটি বস্তুর সদ্‌বিম্বের প্রয়োজন হয় যার ফলে কেবলমাত্র উত্তল বা অভিসারী লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যই এই পদ্ধতিতে মাপা যায়।

আপনি যাতে প্রয়োজনে অবতল অর্থাৎ অপসারী লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যও নির্ণয় করতে পারেন সেজন্য এই এককে যুগ্মিত পদ্ধতিতে (combination method) ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের উপায়ও বর্ণিত হবে। এই পদ্ধতিতে একটি জানা ফোকাস দৈর্ঘ্যের উত্তল লেন্সের সাহায্যে উত্তল বা অবতল, যে কোন ধরনের লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যই নির্ণয় করা যায়।

উদ্দেশ্য

এই এককে যে পরীক্ষাগুলি বর্ণনা করা হবে সেগুলি সম্পন্ন করলে আপনি

- স্থানান্তর পদ্ধতিতে যে কোন উত্তল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় করতে পারবেন।
- একটি জানা ফোকাস দৈর্ঘ্যের উত্তল লেন্সের সাহায্যে যুগ্মিত পদ্ধতিতে উত্তল বা অবতল—যে কোন ধরনের লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যের পরিমাপ করতে পারবেন।

এছাড়াও এই পরীক্ষার মাধ্যমে আপনি

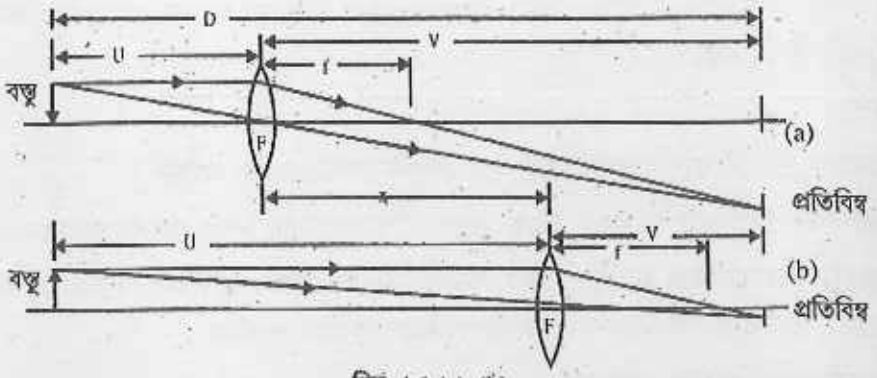
- আলোকীয় বেঞ্চ (optical bench) ব্যবহারের দক্ষতা অর্জন করবেন এবং
- লেন্স, পর্দা প্রভৃতির অবস্থান উপযোজন করে পর্দায় ফোকাসিত সদ্‌বিম্ব পাওয়ার অভ্যাস করতে পারবেন, যা রিফ্লেক্স ক্যামেরা, মাইক্রোস্কোপ, টেলিস্কোপ, প্রজেক্টর প্রভৃতির ব্যবহারে আপনাকে সাহায্য করবে।

4.2 ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের স্থানান্তর পদ্ধতি

আপনি যদি u-v পদ্ধতিতে কোন উত্তল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় করে থাকেন, তবে সম্ভবত আপনি বস্তু ও লেন্সকে নির্দিষ্ট অবস্থানে স্থির রেখে যে পর্দার উপর সদ্‌বিম্ব গঠিত হয় সেটিকে এগিয়ে পেছিয়ে সদ্‌বিম্বটিকে ফোকাসিত করেছেন অথবা একটি পিনের অবস্থান পরিবর্তন করে বস্তু-পিনের সদবিম্বের সঙ্গে তার লম্বন (parallax) দূর করেছেন। স্থানান্তর পদ্ধতি এর থেকে কিছুটা ভিন্ন। বস্তু এবং পর্দার দূরত্ব যদি লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যের চারগুণ অপেক্ষা বেশি হয় তবে উত্তল লেন্সের দুটি ভিন্ন অবস্থানের জন্য পর্দায় বস্তুর সদ্‌বিম্ব গঠিত হয়। বস্তু থেকে পর্দার দূরত্ব এবং লেন্সের দুই অবস্থানের মধ্যে ব্যবধানের পরিমাপ থেকেও লেন্সটির ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়। লেন্সটির এক অবস্থান থেকে অন্য অবস্থানে যেতে সেটির স্থানান্তর মাপতে হয় বলেই এই পদ্ধতিকে স্থানান্তর পদ্ধতি বলা হয়। এবার এই পদ্ধতির গাণিতিক মূলতত্ত্বটি দেখা যাক।

4.2.1 স্থানান্তর পদ্ধতির মূলতত্ত্ব

ধরা যাক F একটি উত্তল লেন্স, যার অক্ষের উপর O বিন্দুতে একটি বস্তু রয়েছে এবং I বিন্দুতে তার সদ্‌বিম্ব গঠিত হয়েছে। এখন FO = u, বস্তুদূরত্ব এবং FI = v, বিম্ব দূরত্ব [চিত্র 4.1(a)]। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যদি f হয় তবে আপনি জানেন যে,



চিত্র 4.1 (a), (b)

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f} \qquad \ldots 4.1$$

এখানে বস্তুদূরত্ব ঋণাত্মক, সদ্‌বিম্বের দূরত্ব এবং উত্তল লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্যকে ধনাত্মক ধরা হয়েছে। এবার u এর স্থানে v আর v এর স্থানে u বসালেও 4.1 সূত্রটি সিদ্ধ হয়, অর্থাৎ বস্তুদূরত্ব যদি v হয় তবে সদ্‌বিম্বের দূরত্ব u হবে। 4.1 (b) চিত্রে এই অবস্থাটি দেখানো হয়েছে। এই দুই ক্ষেত্রের মধ্য লেন্সের স্থানান্তর $x = v - u$। এছাড়া বস্তু ও সদ্‌বিম্বের মধ্যে দূরত্ব $D = v + u$।

সুতরাং $u = \frac{1}{2}(D-x)$ এবং $v = \frac{1}{2}(D+x)$

4.1 সূত্রে u ও v এর রাশিমালাগুলি বসালে পাবেন

$$\frac{2}{D-x}+\frac{2}{D+x}=\frac{1}{f}$$

অর্থাৎ, সরলীকরণের পর

$$f=\frac{D^2-x^2}{4D} \qquad \ldots 4.2$$

4.2 সূত্রটিই স্থানান্তর পদ্ধতির কার্যকরী সূত্র।

যদি $f=\frac{D}{4}$ হয় তবে $x=0$ অর্থাৎ সেই অবস্থায় লেন্সটি একটিমাত্র অবস্থানে রেখে সদ্‌বিম্ব গঠন করা যাবে এবং তখন $u=v=\frac{D}{2}=2f$ হবে। আর যদি $f>\frac{D}{4}$ হয়, তবে যেহেতু 4.2 সূত্র থেকে

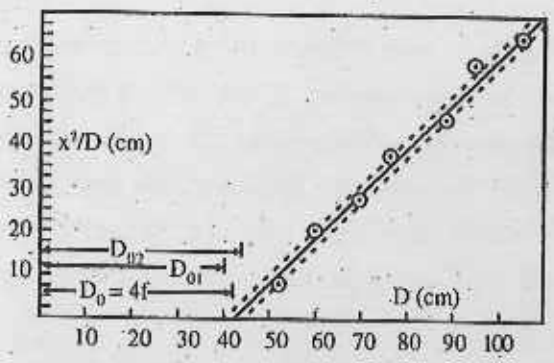
$$x^2=D^2-4Df=4D\left(\frac{D}{4}-f\right)$$

সুতরাং x এর কোন বাস্তব মান পাওয়া যাবে না এবং u এবং v এর মানগুলিও $\left(\frac{1}{2}(D\pm x)\right)$ অলীক হবে। এর অর্থ, সদ্‌বিম্ব পেতে হলে বস্তু ও সদবিম্বের দূরত্ব 4f এর সমান বা তদূর্ধ্ব রাখতেই হবে।

D ও x এর মান জানা থাকলে 4.2 সূত্র থেকে ফোকাস দৈর্ঘ f এর মান সরাসরি পাওয়া যায়। সূত্রটি সাজিয়ে লিখলে

$$\frac{x^2}{D}=D-4f \qquad \ldots 4.3$$

যদি $\frac{x^2}{D}$ রাশিটিকে D এর সঙ্গে লেখচিত্রে প্লট করলে তবে নির্ণীত বিন্দুগুলি একটি সরলরেখার উপর থাকবে যেটি D অক্ষের সঙ্গে 45° কোণে আনত থেকে অক্ষকে মূলবিন্দু থেকে 4f দূরত্বে ছেদ করবে। এই ছেদ দূরত্বকে 4 দিয়ে ভাগ করেও ফোকাস দৈর্ঘ্যের মান পাওয়া যায়। 4.2 চিত্রে এই লেখচিত্রের ধরনটি দেখানো হয়েছে।



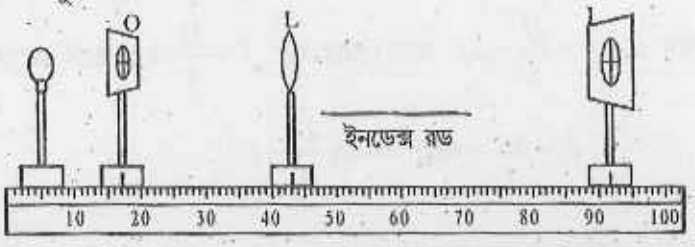
চিত্র 4.2

4.2.2 পরীক্ষার যন্ত্রসজ্জা

এই পরীক্ষায় যে যন্ত্রপাতি লাগবে সেগুলি হ'ল ঃ

পরীক্ষণীয় লেন্স, আলোর উৎস, বস্তু, লেন্স ও প্রতিবিম্ব পর্দার স্ট্যান্ড সমেত একটি আলোকীয় বেঞ্চ (optical bench), বস্তু হিসাবে ব্যবহারের জন্য ফ্রেমে লাগানো তারজালি বা ক্রস-তার অথবা পিন, সাদা

কার্ডবোর্ড বা কাঠের প্রতিবিম্ব পর্দা, স্কেল ও ইনডেক্স রড (সূচক দন্ড)। আলোকীয় বেঞ্চের দৈর্ঘ্য নির্ণেয় ফোকাস দৈর্ঘ্যের 6-7 গুণ হওয়া প্রয়োজন।



চিত্র 4.3

4.3 চিত্রে যন্ত্রসজ্জাটি দেখানো হয়েছে। এখানে B আলোকীয় বেঞ্চ, L স্ট্যান্ডের উপর আটকানো লেন্স, O এবং I বস্তু ও সদ্‌বিম্ব গঠনের পর্দা, যেগুলি স্ট্যান্ডের উপর লেন্সের সঙ্গে সম উচ্চতায় দাঁড় করানো আছে। স্ট্যান্ডগুলিকে আলোকীয় বেঞ্চের উপর সেটির দৈর্ঘ্য বরাবর সরানো যায় এবং সেগুলির সূচক চিহ্নগুলি বেঞ্চের স্কেলের উপর সেগুলির অবস্থান নির্দেশ করে।

4.2.3 পরীক্ষা পদ্ধতি

লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের জন্য নিচের ধাপগুলি অনুসরণ করুন।

(i) লেন্সটিকে হাতে ধরে সাদা দেওয়াল বা যে কোন সমতল পর্দার উপর লেন্সের সাহায্যে দূরবর্তী কোন গাছপালা বা বাড়ির সদ্‌বিম্ব গঠন করুন। এবার স্কেলের সাহায্যে ঐ দেওয়াল বা পর্দা থেকে লেন্সের দূরত্ব মোটামুটিভাবে মাপুন। এই দূরত্বটিকে লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি স্থূল পরিমাপ হিসাবে ধরা যেতে পারে।

(ii) আলোকীয় বেঞ্চের উপর বস্তু ও পর্দার স্ট্যান্ডগুলি সরিয়ে এমন অবস্থানে রাখুন যেন ইনডেক্স রডটি বেঞ্চের দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমান্তরালভাবে ধরে বস্তু ও পর্দা, দুটিকেই ঠিক স্পর্শ করানো যায়। এই অবস্থায় আলোকীয় বেঞ্চের স্কেল থেকে বস্তু ও পর্দার অবস্থানের পাঠ নিন এবং উভয়ের মধ্যে আপাত দূরত্ব l' নির্ণয় করুন। স্কেলের সাহায্যে ইনডেক্স রডের দৈর্ঘ্য (l) পরিমাপ করুন এবং ইনডেক্স সংশোধনী ($l-l'=e$) নির্ণয় করুন। পরীক্ষার পরবর্তী অংশে বস্তু ও পর্দার মধ্যে দূরত্বের যে আপাত মান পাওয়া যাবে তার সঙ্গে ইনডেক্স সংশোধনটি যোগ করে প্রকৃত দূরত্ব নির্ণয় করতে হবে। পাঠগুলি সারণি 4.1-এ লিপিবদ্ধ করুন।

(iii) এবার বস্তু ও পর্দার স্ট্যান্ড পরস্পর থেকে এমন দূরত্বে রাখুন যেন তাদের ব্যবধান লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যের যে স্থূল মানটি আপনি আগে পেয়েছেন তার চারগুণ অপেক্ষা অল্প পরিমাণে বেশি হয়। বস্তু ও পর্দার মধ্যে লেন্সটি স্ট্যান্ডের উপর বসান এবং বস্তুর পিছনে আলো জ্বালুন। আলোর উৎস, বস্তু, লেন্স ও পর্দা মোটামুটি একই অনুভূমিক সরলরেখায় থাকবে। এবার লেন্সটিকে বস্তুর নিকটবর্তী অবস্থান থেকে ক্রমশ পর্দার দিকে সরান, যতক্ষণ না পর্দার উপর বস্তুর সুস্পষ্ট প্রতিবিম্ব দেখা দেয়। লেন্সের অবস্থান উপযোজন করে সদ্‌বিম্বটিকে যথাসম্ভব স্পষ্ট করুন এবং বস্তু, পর্দা ও লেন্সের অবস্থান আলোকীয় বেঞ্চের স্কেল থেকে

পাঠ করে সারণিতে লিখুন (সারণি 4.2)। এইভাবে লেন্সের অবস্থান মোট তিনবার উপযোজন করুন ও স্কেলের পাঠ নিন। এবার লেন্সটিকে পর্দার দিকে সরিয়ে দিন। এখন পর্দার উপর পুনরায় বস্তুর সদ্‌বিম্ব গঠিত হবে। সদ্‌বিম্বটিকে সবচেয়ে স্পষ্ট করে আবার লেন্সের অবস্থানের পাঠ নিন এবং সারণিতে লিখুন।

আপনি হয়ত লক্ষ্য করবেন যে লেন্সের দুই অবস্থানের জন্য যে দুটি সদ্‌বিম্ব পর্দার উপর দেখা যাবে তার প্রথমটি বিবর্ধিত এবং দ্বিতীয়টি সঙ্কুচিত।

(iv) বস্তু ও পর্দার মধ্যে দূরত্ব পাঁচ-ছয় শতাংশের মতো বৃদ্ধি করুন এবং পূর্বের (iii) অংশে বর্ণিত পদ্ধতিটির পুনরাবৃত্তি করুন। এইভাবে আপনি ঐ দূরত্বটিকে লেন্সের স্থূল দৈর্ঘ্যের ছয়-সাড়ে ছয়গুণ পর্যন্ত বাড়িয়ে প্রতিবার লেন্সের দুই অবস্থানের জন্য পাঠ নিয়ে সারণিতে লিখতে পারেন। তবে আলোকীয় বেঞ্চের দৈর্ঘ্য কত, তার উপর আপনার পাঠের সংখ্যা এবং বস্তু ও পর্দার ব্যবধানে প্রতিবারে বৃদ্ধির পরিমাণ নির্ভর করবে।

(v) সারণিতে বস্তু ও পর্দার মধ্যে আপাত দূরত্ব লিখুন এবং ইনডেক্স সংশোধন করে প্রকৃত দূরত্ব (D) নির্ণয় করুন। লেন্সের দুই অবস্থানের মধ্যে ব্যবধান (x) নির্ণয় করুন ও সারণিতে লিখুন। এই ব্যবধান যেহেতু একই স্ট্যান্ডের দুই অবস্থানের পাঠের ব্যবধান অতএব এক্ষেত্রে ইনডেক্স সংশোধনের প্রয়োজন হয় না।

(vi) প্রতিটি পর্যবেক্ষণের জন্য 4.2 সূত্র অনুযায়ী ফোকাস দৈর্ঘ্যের মান নির্ণয় করুন। সারণিতে ফোকাস দৈর্ঘ্য ও গড় ফোকাস দৈর্ঘ্য f লিখুন।

(vii) লেখচিত্র অঙ্কনের জন্য প্রতি পর্যবেক্ষণের জন্য $\frac{x^2}{D}$ রাশির মান গণনা করুন এবং গ্রাফ কাগজে অনুভূমিক অক্ষে D ও উল্লম্ব অক্ষে $\frac{x^2}{D}$ ধরে একই স্কেলে পর্যবেক্ষণগুলি প্লট করুন (চিত্র 4.2)। যে বিন্দুগুলি পেলেন সেগুলির মধ্য দিয়ে D অক্ষের সঙ্গে 45° কোণে সবচেয়ে মানানসই সরলরেখা টানুন। D অক্ষে সরলরেখাটির ছেদিত অংশের দৈর্ঘ্য D_0 নির্ণয় করুন এবং সেটিকে চার দিয়ে ভাগ করে ফোকাস দৈর্ঘ্য বার করুন।

সারণি 4.1 ইনডেক্স সংশোধন নির্ণয়

বস্তুর অবস্থান $x_1(cm)$	পর্দার অবস্থান $x_2(cm)$	আপাত দূরত্ব $l' = x_2 - x_1$ (cm)	ইনডেক্স রডের পাঠ			ইনডেক্স সংশোধন $e = l - l'$ (cm)
			বামপ্রান্ত (cm)	ডানপ্রান্ত (cm)	পার্থক্য l (cm)	
.....	....	.....	....	....	....	.....

সারণি 4.2 ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয়

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বস্তুর অবস্থান (cm)	পর্দার অবস্থান (cm)	আপাত দূরত্ব l'(cm)	প্রকৃত দূরত্ব, D $= l'+e$	লেন্সের প্রথম অবস্থানের পাঠ (cm)	গড় পাঠ (cm)	লেন্সের দ্বিতীয় অবস্থানের পাঠ (cm)	গড় পাঠ (cm)	লেন্সের স্থানান্তর x (cm)	ফোকাস দৈর্ঘ্য $f=\frac{D^2-x^2}{4D}$, (cm)	গড় f (cm)	$\frac{x^2}{D}$ (cm)
1.	.....	.....	.....	.....	.....	....	.....	....	....	....	....	....
2.	.....	.....	.....	.....	.....	....	....	...	...	....	....	....
ইত্যাদি	.....	....	....	....	...	....	....	...	...	....	....	...

গড় ফোকাস দৈর্ঘ্য = ... (cm)

লেখচিত্র থেকে ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় ঃ D অক্ষে ছেদিত অংশের দৈর্ঘ্য ঃ D_0 = ...cm

$\therefore$ ফোকাস দৈর্ঘ্য $f=\frac{1}{4}\times.....cm=...cm$

4.3 যুগ্মিত পদ্ধতি

4.2 অনুচ্ছেদে আপনি স্থানান্তর পদ্ধতিতে লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য মাপতে শিখেছেন। আগেই জেনেছেন যে এই পদ্ধতিটি কেবলমাত্র উত্তল বা অভিসারী লেন্সের ক্ষেত্রেই প্রয়োগ করা যায়। এজন্য অবতল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য এই পদ্ধতিতে সরাসরি মাপা যায় না। কিন্তু যদি ফোকাস দৈর্ঘ্য জানা আছে, এমন যে কোন একটি উত্তল লেন্সের সঙ্গে অন্য একটি উত্তল বা অবতল লেন্সকে সমাক্ষভাবে পরস্পরকে স্পর্শ করে রাখা যায় এবং দুটি লেন্সের সমবায়ে উৎপন্ন যুগ্ম লেন্সটি অভিসারী লেন্সের মতো আচরণ করে তবে ঐ যুগ্ম লেন্সটির ফোকাস দৈর্ঘ্য স্থানান্তর পদ্ধতিতে মাপা যায়। এবং তা থেকে দ্বিতীয় উত্তল ও অবতল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যও জানা যেতে পারে। এই পদ্ধতিকেই আমরা যুগ্মিত পদ্ধতি বলি।

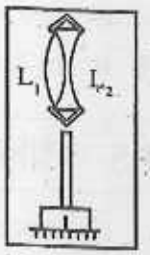
4.3.1 যুগ্মিত পদ্ধতির মূলতত্ত্ব

L_1 একটি উত্তল লেন্স যার ফোকাস দৈর্ঘ্য f জানা আছে। এটিকে স্পর্শ করে, সমাক্ষভাবে অন্য একটি f_2 ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্স L_2 কে রাখা হল (চিত্র 4.4)। যুগ্ম লেন্সটি এখন F ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি লেন্সের মতো আচরণ করবে যেখানে

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \qquad ...4.4$$

অর্থাৎ $$\frac{1}{f_2}=\frac{1}{F}-\frac{1}{f_1} \qquad ...4.5$$

4.4 সূত্র থেকে বোঝা যায় যে যেহেতু f_1 ধনাত্মক, f_2 ধনাত্মক হলে F সর্বদাই ধনাত্মক হবে। অর্থাৎ অজানা ফোকাস দৈর্ঘ্যের (f_2) L_2 লেন্সটির ফোকাস দৈর্ঘ্য সর্বদাই নির্ণয় করা যাবে। কিন্তু যদি L_2 লেন্সটি অবতল হয় তবে f_2 ঋণাত্মক হবে এবং $f_2 > f_1$ হলে তবেই F ধনাত্মক হবে, অর্থাৎ যুগ্ম লেন্সটি উত্তল বা অভিসারী লেন্সের মতো কাজ করবে। সেক্ষেত্রে যুগ্ম লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য স্থানান্তর পদ্ধতিতে মেপে f_2 এর মান 4.5 সূত্র থেকে নির্ণয় করা যাবে।



চিত্র 4.4

4.3.2 পরীক্ষা পদ্ধতি

(i) 4.3 চিত্রে যে যন্ত্রসজ্জাটি দেখানো হয়েছে, যুগ্মিত পদ্ধতিতে সেটিই ব্যবহার করা হবে। ইতিপূর্বে স্থানান্তর পদ্ধতিতে যে উত্তল লেন্সের (L_1) ফোকাস দৈর্ঘ্য মেপেছেন সেটির গায়ে অজ্ঞাত ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্সটিকে সমাক্ষভাবে চেপে ধরুন। দেখে নিন দুটি লেন্স একত্রে বিবর্ধক লেন্সের মতো, অর্থাৎ অভিসারী লেন্স হিসাবে কাজ করছে কিনা। 4.2.3 অংশের (i) পদ্ধতিতে লেন্স সমবায়টির ফোকাস দৈর্ঘ্য স্থূলভাবে নির্ণয় করুন। যদি দুটি লেন্সের সমবায় অভিসারী লেন্স হিসাবে কাজ না করে তবে আগের চেয়ে কম ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্স L_1 হিসাবে ব্যবহার করতে হবে এবং স্থানান্তর পদ্ধতিতে তার ফোকাস দৈর্ঘ্য মেপে নিতে হবে।

(ii) এবার জানা ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্স L_1 এবং অজানা ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্স L_2 কে একত্রে সমাক্ষভাবে লেন্স স্ট্যান্ডে আটকান।

বস্তু ও পর্দার মধ্যে দূরত্বের ইনডেক্স ত্রুটি আপনার আগেই জানা আছে। এখন 4.2.3 অংশের (iii) থেকে (vii) পদ্ধতিগুলি লেন্স সমবায়টির জন্য পুনরাবৃত্তি করুন। লেন্স সমবায়ের গড় ফোকাস দৈর্ঘ্য F, 4.2 সারণির সাহায্যে এবং লেখচিত্র থেকে নির্ণয় করুন।

যেহেতু f_1 ও F দুটিই আপনি নির্ণয় করেছেন, এখন আপনি 4.5 সূত্রের সাহায্যে F_2 ফোকাস দৈর্ঘ্যটি নির্ণয় করতে পারবেন।

4.4 সারাংশ

লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য তার সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ স্থিতিমাপ। এই এককে আপনি লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য পরিমাপ করার একটি উন্নত পদ্ধতি শিখেছেন, যেটি স্থানান্তর পদ্ধতি নামে পরিচিত। এই পদ্ধতিতে একটি বস্তু ও অভিসারী লেন্স দিয়ে গঠিত তার সদ্‌বিম্বের মধ্যে দূরত্ব এবং লেন্সটির যে দুই অবস্থানে ঐ সদ্‌বিম্ব গঠিত হয় সেগুলির মধ্যে ব্যবধান জানা প্রয়োজন হয়। তবে এই পদ্ধতিতে কেবলমাত্র অভিসারী লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্যই মাপা যায়, অবতল বা অপসারী লেন্সের জন্য অন্য একটি পদ্ধতি ব্যবহার করা যায়।

এই এককে আপনি যুগ্মিত পদ্ধতিতেও লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য পরিমাপ করতে শিখেছেন যা অবতল লেন্সের ক্ষেত্রেও প্রয়োগ করা যায়। এই পদ্ধতিতে একটি উত্তল লেন্স এবং ঐ উত্তল লেন্স ও অজানা

ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্সের সমবায়ে গঠিত অভিসারী লেন্সযুগ্মের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় করতে হয় এবং এই দুই ফোকাস দৈর্ঘ্য থেকে অজানা ফোকাস দৈর্ঘ্যটি গণনা করা যায়।

4.5 প্রশ্নাবলি

(i) নিচের প্রশ্নগুলির প্রতিটির তিনটি করে সম্ভাব্য উত্তর দেওয়া আছে। সঠিক উত্তরটি চিহ্নিত করুন।

1. স্থানান্তর পদ্ধতিতে উত্তল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য বার করতে গিয়ে একজন শিক্ষার্থী দেখলেন যে লেন্সের কোন অবস্থানেই স্পষ্ট সদ্‌বিম্ব পাওয়া যাচ্ছে না। এই অবস্থায় D ও f এর সম্পর্কটি হ'ল

(a) $D > 4f$ (b) $D = 4F$ (c) $D < 4f$

2. যদি $D = 5f$ হয় তবে স্থানান্তর পদ্ধতিতে x-এর মান হবে

(a) $\sqrt{5}f$ (b) f (c) $5f$

3. যদি অনুভূমিক অক্ষে D এবং উলম্ব অক্ষে x ধরে লেখচিত্র অঙ্কন করা যায় তবে লেখটি হবে

(a) সরলরেখা (b) অধিবৃত্ত (parabola) (c) পরাবৃত্ত (hyperbola)

4. যুগ্মিত পদ্ধতিতে ব্যবহৃত জানা ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্সের ক্ষেত্রে $f = 10$ cm। লেন্স সমবায়ের ফোকাস দৈর্ঘ্য 15 cm হলে অজানা লেন্সটির শ্রেণি ও ফোকাস দৈর্ঘ্য হ'ল

(a) অবতল, –30 cm (b) উত্তল, 30 cm (c) অবতল, –5 cm

5. একটি আলোকীয় বেঞ্চে বস্তু ও পর্দার মধ্যে ব্যবধান 1.60 মিটারের বেশি করা যায় না। একটি অবতল লেন্সের সঙ্গে সমবায়ে 20 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্স রেখে যদি ঐ আলোকীয় বেঞ্চের সাহায্যে স্থানান্তর পদ্ধতিতে লেন্সযুগ্মের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় করতে হয় তবে অবতল লেন্সটির ফোকাস দৈর্ঘ্য হতে হবে

(a) 20 cm বা তদূর্ধ্ব (b) 40 cm বা তদূর্ধ্ব (c) সর্বোচ্চ 20 cm।

(ii) স্থানান্তর পদ্ধতিতে ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয়ে লেন্সের এক অবস্থানে সদ্‌বিম্বের বিবর্ধনের মান 2 হলে অন্য অবস্থানে কত হবে?

(iii) কোন একজন শিক্ষার্থী স্থানান্তর পদ্ধতিতে উত্তল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য মাপার সময় D-এর মান (120 cm) সঠিক মাপলেও x এর মান 20 cm এর পরিবর্তে 2% বেশি পেলেন। এতে ফোকাস দৈর্ঘ্য পরিমাপে কত আপেক্ষিক ত্রুটি হল?

(iv) 1.5 m দীর্ঘ আলোকীয় বেঞ্চের সাহায্যে 75 cm এর কাছাকাছি ফোকাস দৈর্ঘ্যের উত্তল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য কীভাবে মাপবেন?

4.6 উত্তরমালা

1. (c)

2. (a)

3. (c) কেননা 4.2 সূত্রকে লেখা যায় $\left(\frac{D}{2f}-1\right)^2-\left(\frac{x}{2f}\right)^2=1$ যেটি একটি পরাবৃত্তের সমীকরণ।

4. (a)

5. (b)

(ii) যেহেতু বিবর্ধন $=-\frac{v}{u}$, এবং লেন্সের দুই অবস্থানে u ও v এর মান বিনিময় ঘটে, অতএব দুই ক্ষেত্রে বিবর্ধনগুলি একে অপরের অন্যোন্যক হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে বিবর্ধনের মান $\frac{1}{2}$ হবে ।

(iii) সঠিক ফোকাস দৈর্ঘ্য $=\frac{120^2-20^2}{4\times120}=29.167\,\text{cm}$

নির্ণীত ফোকাস দৈর্ঘ্য $=\frac{120^2-(20.4)^2}{4\times120}$ কেননা x -এর প্রাপ্ত মান $20+0.4=20.4$

$=29.133\,\text{cm}$

$\therefore$ ফোকাস দৈর্ঘ্যে ত্রুটি $=29.167-29.133=.034\,\text{cm}$

$\therefore$ আপেক্ষিক ত্রুটি $=\frac{.034}{29.167}\times100=0.12\%$

(এই উদাহরণটি থেকে বোঝা যায় যে সদ্‌বিম্ব ঠিক মতো ফোকাস না হওয়ায় x-এর মানে যে আপেক্ষিক ত্রুটি হয়, নির্ণীত ফোকাস দৈর্ঘ্যে আপেক্ষিক ত্রুটি তার চেয়ে অনেক কম হয়।)

(iv) ফোকাস দৈর্ঘ্যটির মান বেশি হওয়ায় এটি সরাসরি স্থানান্তর পদ্ধতিতে মাপা যাবে না। প্রথমে 20-30 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য স্থানান্তর পদ্ধতিতে মেপে নিতে হবে। এবার অজানা ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্সটি এই লেন্সের সঙ্গে যুগ্মিত করে যুগ্মলেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য স্থানান্তর পদ্ধতিতে মাপতে হবে। এখন 4.5 সূত্র ব্যবহার করে ফোকাস দৈর্ঘ্যটি নির্ণয় করা যাবে।

একক 5 ❐ লী-এর চাকতি পদ্ধতির সাহায্যে তাপ কুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা (thermal conductivity) নির্ণয়।

গঠন

5.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

5.2 পরীক্ষা ব্যবস্থা ও যন্ত্রপাতি

5.3 মূলতত্ত্ব

5.4 পরীক্ষা পদ্ধতি

5.5 পরীক্ষালব্ধ ফল

5.6 মন্তব্য

5.7 প্রশ্নাবলি

5.8 সারাংশ

5.9 উত্তরমালা

5.1 প্রস্তাবনা

আপনি যদি একটি কাচদণ্ডের একপ্রান্ত আগুনে রেখে অন্য প্রান্তটি হাতে ধরে থাকেন, তাহলে আপনি অনেকক্ষণ ধরে থাকতে পারেন কারণ আপনার হাতে ধরা প্রান্তটি খুব গরম হয়ে যায় না। কিন্তু দণ্ডটি কাচের না হয়ে লোহা বা তামার হলে অতক্ষণ ধরে থাকা সম্ভব হয় না কারণ আপনার হাতে ধরা প্রান্তটি তাড়াতাড়ি গরম হয়ে যায়। এখানে তাপের সঞ্চালন হচ্ছে উষ্ণপ্রান্ত থেকে শীতলতর প্রান্তে কিন্তু কাচ, লোহা বা তামার অণুগুলি স্থানচ্যুত হচ্ছে না। আপনি জানেন তাপের এ জাতীয় সঞ্চালনকে পরিবহণ বলে। এটাও দেখা যাচ্ছে যে কাচ, লোহা, তামার পরিবহণ ক্ষমতা সমান নয়। তামা ও লোহাতে তাপ দ্রুত সঞ্চালিত হতে পারে। এগুলিকে তাই আমরা সুপরিবাহী বলি। কাচের মধ্যে দিয়ে কিন্তু তাপ দ্রুত পরিবাহিত হতে পারে না। এ রকম পদার্থকে কুপরিবাহী বলে। প্রায় সব ধাতুই তাপের সুপরিবাহী। উদাহণ হিসাবে রূপা, তামা, লোহা, পিতল, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদির নাম বলা যায়। অপরপক্ষে, কর্ক, রবার, কাঠ, কাচ প্রভৃতি কুপরিবাহী পদার্থের উদাহরণ।

কোন পদার্থে একক উষ্ণতা নতির (temperature gradient) ফলে তার উপর লম্ব একক ক্ষেত্রফলের

মধ্য দিয়ে তাপ পরিবহণের হারকেই আমরা পদার্থের 'তাপ পরিবাহিতা' বলি। তাপ পরিবাহিতার আন্তর্জাতিক একক $Wm^{-1}K^{-1}$ (ওয়াট/ মিটার K)। এই 'তাপ পরিবাহিতা' পদার্থের আকার, আকৃতি বা আয়তনের ওপর নির্ভরশীল নয়। সুপরিবাহীর 'তার পরিবাহিতা' বেশি (50-500 আন্তর্জাতিক একক)। কুপরিবাহীর তাপ পরিবাহিতা অনেক কম (≤10 আন্তর্জাতিক একক)।

'তাপ পরিবাহিতা' কোন পদার্থের একটি গুরুত্বপূর্ণ ধর্ম। এর ওপরে নির্ভর করে তাপীয় ব্যবস্থার ক্ষেত্রে তার ব্যবহার। যেমন, কাঠের তাপ পরিবাহিতা কম। সেজন্য বরফকে কাঠের গুঁড়ো দিয়ে ঢেকে রাখা হয় যাতে বরফ তাড়াতাড়ি গলে যেতে না পারে। আবার, রান্না করার সময় বেশি তাপ পরিবাহিতা সম্পন্ন ধাতুর পাত্র ব্যবহার করা হয় যাতে আগুন থেকে তাপ তাড়াতাড়ি পাত্রে রাখা পদার্থে সঞ্চালিত হতে পারে।

সুতরাং, কোন পদার্থকে তাপ পরিবাহী বা তাপ-অন্তরক, এর কীভাবে ব্যবহার করা যাবে তা বুঝতে হলে তার তাপ পরিবাহিতা পরীক্ষাগারে নির্ণয় করা প্রয়োজন।

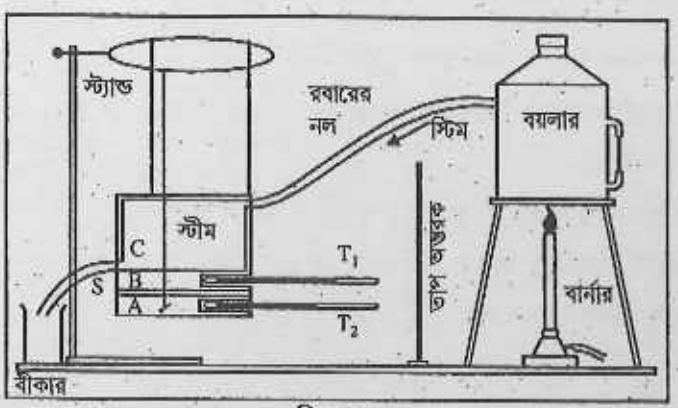
এই পরীক্ষায় আপনি লী (Lee) এর পদ্ধতিতে কোন কুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা নির্ণয় করতে শিখবেন।

উদ্দেশ্য

এই এককটি পড়বার পরে ও পরীক্ষাটি করে দেখার পরে আপনি নিচের বিষয়গুলি সম্বন্ধে জানতে পারবেন ও দক্ষতা অর্জন করতে পারবেন :—

- দুটি ভিন্ন বস্তুর উষ্ণতার পার্থক্য থার্মোমিটার ব্যবহার করে মাপার ত্রুটি কিভাবে অপসারণ করা হয় তা জানতে পারবেন।
- কোন পদার্থ থেকে পরিচালন ও বিকিরণের জন্য তাপক্ষয়ের হার নির্ধারণ করতে পারবেন।
- চাকতির আকারে থাকা কুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা নির্ণয় করতে পারবেন।

5.2 পরীক্ষা ব্যবস্থা ও যন্ত্রপাতি



চিত্র 5.1

এই পরীক্ষার জন্য প্রয়োজনীয় পরীক্ষাব্যবস্থা 5.1 চিত্রে দেখানো হয়েছে।

এখানে, পিতলের একটি বেলনাকৃতি ফাঁপা পাত্র (C) স্টিম প্রকোষ্ঠ (Steam chamber) হিসেবে কাজ করে। এই পাত্রে দুটি নল লাগানো থাকে। ওপরের নল দিয়ে স্টিম প্রবেশ করে এবং নিচের নল দিয়ে স্টিম বেরিয়ে যায়। এই প্রকোষ্ঠের তলার অংশটি (B) একটি পুরু গোলাকার পিতলের চাকতি। 'A' হল B এর সমান ব্যাসের আর একটি পিতলের চাকতি। পরীক্ষাধীন কুপরিবাহী পদার্থের চাকতিটি (S) চাকতি B ও A-এর মধ্যে ঠাসভাবে রাখা (sandwiched) থাকে। S চাকতির ব্যাসও A ও B এর ব্যাসের সমান হয়। এটির বেধ কয়েক মিলিমিটার। T_1 থার্মোমিটারের সাহায্যে 'B' চাকতির উষ্ণতা এবং T_2 থার্মোমিটারের সাহায্যে 'A' চাকতির উষ্ণতা মাপার ব্যবস্থা থাকে। কয়েকটি শিকল বা তারের সাহায্যে সমগ্র পরীক্ষা ব্যবস্থাটিকে একটি দৃঢ় অবলম্বন থেকে ঝুলিয়ে রাখা হয়।

এছাড়া এই পরীক্ষার জন্য আপনার লাগবে স্লাইড ক্যালিপার্স, ট্রাভেলিং মাইক্রোস্কোপ, মিটার স্কেল, সুতো ও স্টপ ক্লক।

5.3 মূলতত্ত্ব

কোন বয়লার থেকে স্টিম C প্রকোষ্ঠে চালনা করলে ধাতব চাকতি B উত্তপ্ত হয় এবং একই সঙ্গে তাপ B থেকে কুপরিবাহী পদার্থের চাকতির (S) মধ্যে দিয়ে পরিবাহিত হয়ে ধাতব চাকতি A কে উত্তপ্ত করে। আবার, A চাকতি থেকে পরিচলন ও বিকিরণের জন্যও তাপ বেরিয়ে যেতে থাকে। এর ফলে প্রথমে B ও A দুটি চাকতিরই উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। কিছু সময় পরে একটি স্থির অবস্থার সৃষ্টি হয়, যখন B ও A চাকতি দুটির উষ্ণতা স্থির অবস্থায় আসে। এই অবস্থায়, B চাকতি থেকে S কুপরিবাহী চাকতির মধ্যে দিয়ে A চাকতিতে পরিবাহিত তাপের হার এবং A চাকতি থেকে পরিচলন ও বিকিরণের জন্য তাপক্ষয়ের হার সমান হয়।

এখন, B থেকে A তে স্থির অবস্থায় তাপ পরিবহণের হার

$$= \frac{dQ}{dt} = \frac{KA(\theta_1 - \theta_2)}{d} \qquad \ldots 5.1$$

যেখানে K = কুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা

A = S চাকতির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল = πr^2

(r = S চাকতির ব্যাসার্ধ)

θ_1, θ_2 = স্থির অবস্থায় যথাক্রমে B ও A চাকতির উষ্ণতা

d = S কুপরিবাহী চাকতির বেধ

5.1 নং সমীকরণ থেকে লেখা যায়,

$$K = \frac{\left(\frac{dQ}{dt}\right)d}{\pi r^2(\theta_1 - \theta_2)} \qquad \ldots 5.2$$

5.1 ও 5.2 সমীকরণের $\frac{dQ}{dt}$ আবার পরীক্ষাধীন অবস্থায় (অর্থাৎ A-এর ওপরে S চাকতিটি বসানো অবস্থায়) A- থেকে θ_2°c উষ্ণতায় পরিচলন ও বিকিরণের সাহায্যে তাপক্ষয়ের হারের সমান হবে।

$\frac{dQ}{dt}$ নির্ণয়ের জন্য A চাকতিকে θ_2°C অপেক্ষা প্রায় 10°C বেশি উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। এইবার বার্ণারটিকে সরিয়ে A চাকতিকে ঠাণ্ডা হতে দেওয়া হয়। শীতলনের সময়ের সঙ্গে A চাকতির উষ্ণতার শীতলন লেখ থেকে θ_2°C উষ্ণতায় উষ্ণতা হ্রাসের হার $\left[=\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2}\right]$ নির্ণয় করা হয়।

এই অবস্থায় θ_2°C এ A থেকে তাপক্ষয়ের হার $= ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2}$

এই তাপক্ষয় A এর দুই সমতল পৃষ্ঠ ও বক্রপৃষ্ঠ থেকে হয়। কিন্তু স্থির অবস্থার পরীক্ষার সময় তাপক্ষয় শুধুমাত্র A র নিচের সমতল পৃষ্ঠ ও বক্রপৃষ্ঠ থেকে হয় কারণ উপরের পৃষ্ঠটিতে উষ্ণতা নতি S চাকতি থেকে A চাকতি অভিমুখে থাকে। এই জন্য স্থির অবস্থার পরীক্ষায় $\frac{dQ}{dt}$ নির্ণয় করার জন্য বেডফোর্ডের সংশোধন প্রয়োগ করা হয়। এই সংশোধন অনুসারে

$$\frac{dQ}{dt} = ms\left[\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2}\right]_{\text{সংশোধিত}} = ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2} \times \frac{\text{শীতলনের সময় } A \text{ - এর উন্মুক্ত ক্ষেত্রফল}}{\text{স্থির অবস্থায় } A \text{ - এর উপযুক্ত ক্ষেত্রফল}}$$

$$= ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2} \frac{\pi r^2 + 2\pi rD}{2\pi r^2 + 2\pi rD}$$

(যেহেতু A চাকতির ব্যাসার্ধ S চাকতির সমান, অর্থাৎ r)

$$= ms\left[\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2} \times \frac{r+2D}{2r+2D}\right] \qquad \ldots.5.3$$

যেখানে m, s = যথাক্রমে A চাকতির ভর এবং উপাদানের আপেক্ষিক তাপ

D = A চাকতির বেধ

সমীকরণ 5.3 থেকে K এর মান পাই

$$K = \frac{ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2} \times \left(\frac{r+2D}{2r+2D}\right)d}{\pi r^2(\theta_1 - \theta_2)} \qquad \ldots.5.4$$

5.4 সমীকরণের সাহায্যে K এর মান নির্ণয় করা যায়।

A চাকতির ব্যাসার্ধ যদি কুপরিবাহী চাকতির ব্যাসার্ধ r এর তুলনায় সামান্য কম (= r′) হয় তবে 5.4 সমীকরণটিতে বেডফোর্ড সংশোধনে r এর পরিবর্তে r' ব্যবহার করতে হবে। সেক্ষেত্রে সমীকরণটির পরিবর্তিত রূপ হবে।

$$K = \frac{ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2} \times \left(\frac{r'+2D}{2r'+2D}\right)d}{\pi r^2(\theta_1 - \theta_2)} \qquad \text{.....5.5}$$

5.4 পরীক্ষা পদ্ধতি

(i) A চাকতিটির ভর (m) নির্ণয় ও লিপিবদ্ধ করুন (যদি না দেওয়া থাকে)। এর জন্য বেশি ওজন মাপার উপযুক্ত তুলাদণ্ডের প্রয়োজন হবে।

(ii) স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে A চাকতির বেধ নির্ণয় করার জন্য প্রথমে স্লাইড ক্যালিপার্সের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করুন। এরপরে এর সাহায্যে মূলস্কেল পাঠ ও ভার্নিয়ার পাঠ নিয়ে চাকতির অন্তত তিনটি ভিন্ন অঞ্চলে বেধের পরিমাপ করুন। এই পাঠগুলি 1 নং সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন।

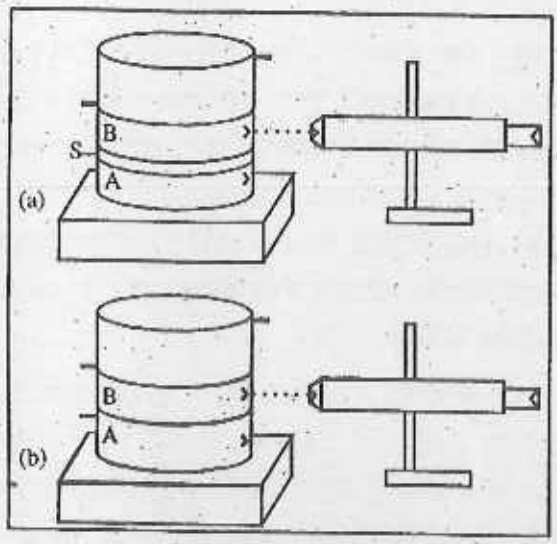
(iii) A চাকতির ব্যাসার্ধ (r') নির্ণয়ের জন্য এর পরিধির ওপরে একটি শক্ত সুতো ঠিক দু'পাক জড়িয়ে দিন এবং এর পরে সুতোটি খুলে নিয়ে মিটার স্কেলের সাহায্যে সুতোর জড়ানো অংশের দৈর্ঘ্য (L) মাপুন। তাহলে চাকতির ব্যাসার্ধ হবে $r' = \frac{L}{2\times 2\pi}$। n পাক জড়ালে ব্যাসার্ধ $r' = \frac{L}{n\times 2\pi}$। 2 নং সারণিতে উপাত্তগুলিকে লিপিবদ্ধ করুন।

(iv) ওপরের পদ্ধতির মতো একইভাবে কুপরিবাহী পদার্থের চাকতিটির (S) ব্যাসার্ধ (r) এবং চাকতির ক্ষেত্রফল = $A = \pi r^2$ নির্ণয় করুন ও 3 নং সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন। লক্ষ্য করুন $r' = r$ কিনা।

(v) কুপরিবাহী পদার্থের চাকতিটির বেধ (d) দুই উপায়ে নির্ণয় করা যায়। চাকতিটি কাচ বেকেলাইট প্রভৃতি দৃঢ় উপাদানের তৈরি হলে আপনি স্ক্রু গেজের সাহায্যে তার বিভিন্ন জায়গায় বেধ মেপে পাঠগুলির গড় নিতে পারেন। অপরপক্ষে চাকতিটি রবার বা অ্যাসবেসটসের মত সংনম্য পদার্থে তৈরি হলে সেটিকে স্থির অবস্থার পরীক্ষার অনুরূপ অবস্থায় রেখে সেটির বেধ মাপতে হবে কেননা তার বেধ চাপের উপর নির্ভর করবে। এজন্য আপনাকে চলমান মাইক্রোস্কোপের সাহায্য নিতে হবে। এই পদ্ধতিতে কীভাবে বেধ নির্ণয় করা যায় সেটি দেখা যাক।

প্রথমে মাইক্রোস্কোপের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করুন। A ও B চাকতি দুটির গায়ে সূক্ষ্ম আঁচড় কেটে একটি করে ক্রসচিহ্ন আঁকুন। একটি কাঠের ব্লক বা পাটাতনের উপর প্রথমে A চাকতি, তার উপর পরপর S চাকতি ও B চাকতি বা স্টিম প্রকোষ্ঠ রাখুন (চিত্র 5.2a)। A ও B এর গায়ে আঁকা ক্রসচিহ্নগুলি একই উল্লম্বরেখায় থাকবে। চলমান মাইক্রোস্কোপটিকে অনুভূমিক অবস্থায় রেখে B চাকতির গায়ে ক্রসচিহ্নের

উপর ফোকাস করুন এবং ক্রসচিহ্নের ছেদবিন্দুটি মাইক্রোস্কোপের অনুভূমিক ক্রসতারের সঙ্গে মিলিয়ে নিন। মাইক্রোস্কোপের উল্লম্ব স্কেলের পাঠ (R_1) নিন। এবার মাইক্রোস্কোপটিকে নামিয়ে A চাকতির ক্রসচিহ্নের ছেদবিন্দুর সঙ্গে অনুভূমিক ক্রসতারটি মিলিয়ে নিন এবং আগের মতো উল্লম্ব স্কেলের পাঠ (R'_1) নিন। $(R_1 - R'_1)$ রাশি দুই ক্রসচিহ্নের ছেদবিন্দুটির মধ্যে উল্লম্ব দূরত্ব নির্দেশ করছে। S চাকতিটি A ও B এর মধ্য থেকে বার করে নিন এবং B চাকতিটি না ঘুরিয়ে A চাকতির উপর রাখুন। পূর্বের মত মাইক্রোস্কোপের অনুভূমিক ক্রসতারটিকে B ও A চাকতির ক্রসচিহ্নের সঙ্গে মিলিয়ে উল্লম্ব স্কেলের পাঠ (যথাক্রমে R_2 ও R'_2 নিন)। $(R_2 - R'_2)$ রাশিটি এখন দুই ক্রসচিহ্নের ছেদ বিন্দুরটির মধ্যে পরিবর্তিত উল্লম্ব দূরত্ব। $(R_1 - R'_1) - (R_2 - R'_2)$ রাশিটি S চাকতির নির্ণীত বেধ।



চিত্র 5.2

(vi) এবার 5.1 চিত্রের মতো পরীক্ষার যন্ত্রাংশ সাজিয়ে নিন। এখানে কুপরিবাহী চাকতি (S) B ও A চাকতির মধ্যে বসানো থাকবে। স্টিম প্রকোষ্ঠ C কে একটি বয়লারের সঙ্গে রবার নল দিয়ে যুক্ত করুন। বয়লারে জল বার্নারের সাহায্যে ফুটিয়ে স্টিম প্রকোষ্ঠে স্টিম পাঠান। দেখা যাবে যে B চাকতির মধ্যে রাখা T_1 থার্মোমিটারের পাঠ 80°C এর কাছাকাছি হবে তখন স্টপক্লক চালু করুন এবং প্রতি 3 বা 5 মিনিট অন্তর দুটি থার্মোমিটারেরই পাঠ নিতে থাকুন। কিছুক্ষণ পরে দেখা যাবে থার্মোমিটারের পাঠগুলি আর বদলাচ্ছে না। পরপর তিনটি পাঠ একই হলে বোঝা যাবে B ও A চাকতিগুলি তাপীয় স্থির অবস্থায় এসেছে। যদি এই অবস্থায় T_1 থার্মোমিটারের পাঠ θ'_1 ও T_2 থার্মোমিটারের পাঠ θ'_2 হয় তাহলে স্থির অবস্থায় তাদের উষ্ণতার পার্থক্য $\Delta\theta_1 = (\theta'_1 - \theta'_2)$। পরপর তিনটি পাঠ এক হলে পাঠ নেওয়া বন্ধ করুন। কিন্তু স্টিম পাঠানো বন্ধ করবেন না।

এবারে, T_1 ও T_2 থার্মোমিটার দুটি বদলাবদলি করে দিন অর্থাৎ T_2 থার্মোমিটারটি B এর মধ্যে ও T_1 থার্মোমিটারটি A এর মধ্যে রাখুন। এদের পাঠগুলির স্থির অবস্থায় এলে পাঠগুলি লিপিবদ্ধ করুন। এখন B এর মধ্যের T_2 থার্মোমিটারের পাঠ θ''_1 ও A এর মধ্যের T_1 থার্মোমিটারের পাঠ θ''_2 হলে স্থির অবস্থায় B ও A এর মধ্যে উষ্ণতার পার্থক্য $\Delta\theta_2 = (\theta''_1 - \theta''_2)$ হবে। যদি দুটি থার্মোমিটারের অংশাঙ্কন ঠিক থাকে তাহলে $\Delta\theta_1$ ও $\Delta\theta_2$ একই হবে, তা না হলে সেগুলি সামান্য ভিন্ন হতে পারে। $\Delta\theta_1$ ও $\Delta\theta_2$ এর গড় নিলে তাদের অংশাঙ্কনের ত্রুটির জন্যে উষ্ণতার পার্থক্যের ত্রুটি অপনীত হবে।

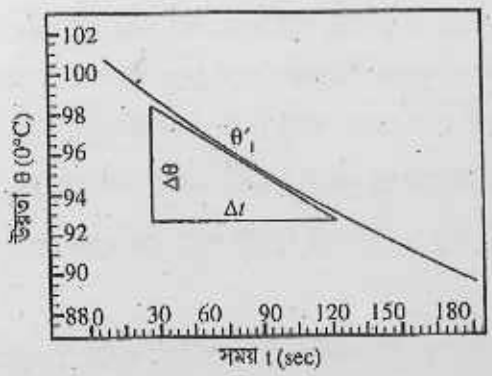
সুতরাং স্থির অবস্থায় B ও A র মধ্যে সংশোধিত উষ্ণতা পার্থক্য

$= (\theta_1 - 0_2) = \frac{1}{2}(\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)$

পরীক্ষার এই অংশের ফলাফলগুলি 5 নং সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন।

(vii) এবার স্টিম বয়লারে জল ফোটানো বন্ধ করুন এবং A চাকতির ওপর থেকে স্টিম প্রকোষ্ঠ ও কুপরিবাহী চাকতি (S) সরিয়ে নিন। T_2 থার্মোমিটারকে A র মধ্যে প্রবিষ্ট করান। বার্নারের সাহায্যে A কে উত্তপ্ত করুন। যখন A-র উষ্ণতা (T_2 থার্মোমিটারের সাহায্যে মাপা) স্থির অবস্থায় এই থার্মোমিটারের পাঠ অর্থাৎ θ'_2 অপেক্ষা মোটামুটি 5–6°C বেশি হবে তখন বার্নার সরিয়ে নিন এবং স্টপক্লক চালু করুন। এখন A ক্রমশ শীতল হতে থাকবে ও T_2 থার্মোমিটারের পাঠ (θ) হ্রাস পেতে থাকবে। প্রতি 30 সেকেন্ড অন্তর T_2 থার্মোমিটারের পাঠ নিতে থাকুন, যতক্ষণ না T_2 থার্মোমিটারের পাঠ তার স্থির অবস্থায় পাঠ θ'_2 থেকে প্রায় 10°C কম হয়। পরীক্ষালব্ধ ফলগুলি 6 নং সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন।

পরীক্ষালব্ধ ফলগুলি X-অক্ষ বরাবর সময় (t) ও Y অক্ষ বরাবর A চাকতির উষ্ণতা (θ) ধরে লেখচিত্রে বসিয়ে বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে মসৃণ বক্ররেখা অঙ্কন করুন। এটি হবে A চাকতির সময়-উষ্ণতা শীতলন লেখচিত্র। ঐ লেখচিত্রে T_2 থার্মোমিটার দ্বারা দেখানো স্থির অবস্থার উষ্ণতা (অর্থাৎ θ'_2) একটি স্পর্শক আঁকুন (চিত্র 5.3)। স্পর্শকটিকে উভয়দিকে বর্ধিত করুন এবং তার নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের θ উপাংশ $\Delta\theta$ এবং t উপাংশ Δt নির্ণয় করে নতি $\Delta\theta/\Delta t$ -এর মান বার করুন। এই নতি 5.4 সমীকরণে $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_1}$ হিসাবে ব্যবহার করতে পারবেন।



চিত্র 5.3

5.5 পরীক্ষালব্ধ ফল

A চাকতির ভর, m = ...kg

A চাকতির উপাদানের আঃ তাপ, $s = Jkg^{-1}K^{-1}$

(কয়েকটি সাধারণ উপাদানের আপেক্ষিক তাপ সারণি-8 এ দেওয়া আছে)

সারণি 1 : স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে A চাকতির বেধ (D) নির্ণয়

মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান $= x$ cm

nটি ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের মান $= (n-1)$টি মূল স্কেল ঘরের মান

বা 1টি ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের মান $= \frac{n-1}{n} \times 1$ টি মূল স্কেল ঘরের মান।

∴ ভার্নিয়ার ধ্রুবক = 1টি মূল স্কেল ঘরের মান — 1টি ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের মান

$$= \left(1 - \frac{n-1}{n}\right) \times \text{মূল স্কেল ঘরের মান}$$

$$= \frac{1}{n} \times \text{ মূল স্কেল ঘরের মান } = \frac{1}{n} \times x \text{ cm}$$

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূল স্কেল (M) (cm)	ভার্নিয়ার স্কেল পাঠ (V)	A এর বেধ = M + (V x ভার্নিয়ার ধ্রুবক)	A এর গড় বেধ = D (cm)
1	.....	.....	.....	.....
2	.....	.....	.....	.....
3	.....	.....	.....	.....

সারণি-2 সুতো ও স্কেলের সাহায্যে A- এর ব্যাসার্ধ নির্ণয়

সুতার পাক সংখ্যা, n	n পাক সুতা মোট দৈর্ঘ্য, L (m)	ব্যাসার্ধ $r = \frac{L}{2\pi n}$ (m)
2		

সারণি-3 : স্কেল ও সুতার সাহায্যে কুপরিবাহী চাকতির (S) ব্যাসার্ধ (r) ও ক্ষেত্রফল (πr^2) নির্ণয়।

সুতার পাক সংখ্যা, n	n পাকের জন্য সুতার মোট দৈর্ঘ্য, L (m)	S চাকতির ব্যাসার্ধ $r = \frac{L}{n.2\pi}(m)$	S চাকতির ক্ষেত্রফল $= \pi r^2 (m^2)$
2	.....	.....	.....

সারণি-4 চলমান মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে কুপরিবাহী চাকতি s এর বেধ d নির্ণয়।

চলমান মাইক্রোস্কোপের উলম্ব স্কেলের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় ঃ

উদাহরণ ঃ মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান $= x$ cm

nটি ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের মান $= n-1$টি মূল স্কেল ঘরের মান

ভার্নিয়ার স্কেলের 1টি ঘরের মান $= \frac{n-1}{n}$টি মূল স্কেল ঘরের মান

$\therefore$ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক $=$ 1টি মূল স্কেল ঘরের মান $-$ 1টি ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের মান

$= \left(1-\frac{n-1}{n}\right) \times$ 1টি মূল স্কেল ঘরের মান $= \frac{1}{n} \times x$ cm

মাইক্রোস্কোপের পাঠ ও বেধ নির্ণয়

মাইক্রোস্কোপের উল্লম্ব স্কেলের পাঠ

পরিমাপের সংখ্যা	কুপরিবাহী S চাকতি সহ							কুপরিবাহী S চাকতি ব্যতীত							S চাকতির বেধ	গড় বেধ
	B চাকতির পাঠ			A চাকতির পাঠ			$R_1-R'_1$	B চাকতির পাঠ			A চাকতির পাঠ			$R_2-R'_2$	$R_1-R'_1$ $-(R_2-R'_2)$	(d)
	মূল স্কেল cm	ভার্নি স্কেল cm	R_1 cm	মূল স্কেল cm	ভার্নি স্কেল	R'_1 cm	cm	মূল স্কেল cm	ভার্নি স্কেল	R_2 cm	মূল স্কেল cm	ভার্নি স্কেল	R'_2 cm	cm	(m)	(m)

সারণি- 5 ঃ সময়-উষ্ণতা উপাত্ত

থার্মোমিটার	চাকতি	সময় (মিনিট)							স্থির অবস্থায় উষ্ণতা
		0	3	6	9	12	15	.....	
T_1	B								$\theta'_1 =$
T_2	A								$\theta'_2 =$
T_2	B								$\theta''_1 =$
T_1	A								$\theta''_2 =$
$\Delta\theta_1 = \theta'_1 - \theta'_2 =$ ....., $\Delta\theta_2 = \theta''_1 - \theta''_2 =$ ....., $\theta_1 - \theta_2 = (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)/2 =$									

সারণি 6 : A চাকতির শীতলনের সময়ে সময় উষ্ণতা উপাত্ত (T_2 থার্মোমিটার)

সময় (S), t	0	30	60	90	120	150	180
উষ্ণতা (°C), θ	.....	....	.....	.....	.....	.....	
সময় (S), t	210	240	270	300	330	360	390
উষ্ণতা (°C), θ	....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

শীতলন লেখচিত্র (চিত্র 5.3) থেকে $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ ..... $°C/S$

সারণি-7 : সারণি 1 থেকে সারণি 6 পর্যন্ত প্রাপ্ত তথ্য থেকে কুপরিবাহী চাকতির পদার্থের তাপ পরিবাহিতার (K) মান গণনা।

A চাকতির ভর kg	A চাকতির বেধ D(m)	A -র উপাদানের আঃ তাপ, S $Jkg^{-1}K^{-1}$	কুপরিবাহী চাকতির (S) বেধ d (m)	(S) এর ব্যাসার্ধ, r, (m)	গড় $(\theta_1 - \theta_2)$ (K)	$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_1}$ (KS^{-1})	বেডফোর্ড সংশোধন গুণাঙ্ক (f) $f = \frac{r+2D}{2r+2D}$	$\left[\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2}\right]$ সংশোধিত $= \left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2} \times f$ (Ks^{-1})	K $Js^{-1}m^{-1}K^{-1}$

সারণি 8 : কয়েকটি সাধারণ উপাদানের আপেক্ষিক তাপ

উপাদান	আপেক্ষিক তাপ, S $Jkg^{-1}K^{-1}$
পিতল (লাল)	377
পিতল (হলুদ)	368
স্টিল	480
স্টেনলেস স্টিল	510
তামা	373
লোহা	438

5.6 মন্তব্য

এই পরীক্ষাটি করার সময় আপনাকে কয়েকটি বিষয় মনে রাখতে হবে। এগুলি সম্বন্ধে এখানে আলোচনা করা যাক।

(i) স্টিম প্রকোষ্ঠের (C) মধ্যে দিয়ে স্টিম পাঠানোর সময় প্রকোষ্ঠের নির্গমন নলটি নিচের দিকে আনত রাখতে হবে যাতে স্টিম প্রকোষ্ঠে স্টিম ঘনীভূত হয়ে জল জমে না যায়। এতে B চাকতি সহজেই স্টিমের উষ্ণতায় আসবে।

(ii) স্থিরাবস্থায় সহজে পৌঁছানোর জন্য এবং স্থিরাবস্থাটি অপরিবর্তিত রাখার জন্য স্টিম প্রকোষ্ঠ ও সংশ্লিষ্ট যান্ত্রিক ব্যবস্থাকে বয়লারের তাপ থেকে ও এলোমেলো বায়ুপ্রবাহের হাত থেকে রক্ষা করা প্রয়োজন। এই কারণে, বার্নার ও বয়লার-এর জায়গা ও স্টিম প্রকোষ্ঠের জায়গার মধ্যে একটি তাপ অন্তরকের দেওয়াল রাখা দরকার।

এছাড়া, শীতলন লেখচিত্রের জন্য উপাত্ত সংগ্রহের সময়ে (সারণি-6) পারিপার্শ্বিক অবস্থা স্থিরাবস্থার সময়ের মতো হওয়া দরকার কেননা পারিপার্শ্বিক অবস্থার (বায়ুপ্রবাহ ও উষ্ণতা) পরিবর্তন হলে শীতলনের হার পরিবর্তিত হয়। এই কারণে সমগ্র যান্ত্রিক ব্যবস্থাটিকে জানলাবিহীন দেওয়ালের কাছে রাখা প্রয়োজন।

(iii) স্থির অবস্থায় A চাকতি থেকে যে তাপক্ষয় হয় তার কিছুটা পরিচলন এবং কিছুটা বিকিরণের জন্য হয়ে থাকে। পরিচলনের ফলে তাপক্ষয় উন্মুক্ত তলের ক্ষেত্রফলের সঙ্গে পুরোপুরি সমানুপাতিক হয় না কেননা চাকতির উপরের ও নিচের অনুভূমিক তল এবং পাশের বক্রতল থেকে তাপ পরিচলনের হার ভিন্ন হয়ে থাকে। এরফলে 5.3 সমীকরণটিতেও যে বেডফোর্ডের সংশোধন প্রয়োগ করা হয়েছে তা সম্পূর্ণ সঠিক নয় এবং এর ফলে তাপ পরিবাহিতার নির্ণীত মানে কিছুটা বাড়তি ত্রুটি থাকবে।

(iv) মূলতত্ত্বে এটা ধরে নেওয়া হয়েছে যে, যে হারে B চাকতি থেকে S কুপরিবাহীর ওপরের পৃষ্ঠের তাপ ঢুকছে, একই হারে সেই তাপ S এর নিচের পৃষ্ঠ থেকে A চাকতিতে প্রবেশ করছে। অর্থাৎ, মূলতত্ত্বে পরীক্ষাধীন S চাকতির বক্রতল থেকে তাপক্ষয়ের হার উপেক্ষা করা হয়েছে। যদি S চাকতির বেধ (d) খুব কম হয় তাহলে তার বক্রতল থেকে তাপক্ষয়ের হার উপেক্ষণীয় হয়। মূলতত্ত্ব থেকে এটি বোঝা যাবে যে যদি এই তাপক্ষয় উপেক্ষণীয় হতে হয় তাহলে S চাকতির বক্রতলের ক্ষেত্রফল A চাকতির মুক্ত তলের ক্ষেত্রফলের তুলনায় উপেক্ষণীয় হওয়া দরকার। অর্থাৎ

$$2\pi rd \ll (\pi r^2 + 2\pi rD)$$

$$d \ll (r + 2D)/2$$

অর্থাৎ $r \approx 5\,\text{cm}$ এবং $D \approx 1.5\,\text{cm}$ হলে $d \ll 4\,\text{cm}$ হওয়া প্রয়োজন।

d-এর মান যথেষ্ট ক্ষুদ্র না হলে অর্থাৎ কুপরিবাহী চাকতির বক্রতল থেকে তাপক্ষয় উপেক্ষা করা না গেলে ঐ চাকতির মধ্য দিয়ে তাপপ্রবাহ চাকতির সমতল পৃষ্ঠের লম্ব অভিমুখী হবে না এবং মূলতত্ত্বের 5.1 সূত্রটি প্রযোজ্য থাকবে না।

(v) আপনি লক্ষ্য করেছেন যে স্থির অবস্থায় A ও B চাকতির উষ্ণতার পার্থক্য নির্ণয়ের সময় প্রথমে T_1 ও T_2 থার্মোমিটারের পাঠ নেওয়ার পর সেগুলির স্থান অদলবদল করে আবার পাঠ নিতে হয়েছে। এর কারণ একই উষ্ণতায়, অংশাঙ্কনের ত্রুটির জন্য দুটি থার্মোমিটার সামান্য পৃথক পাঠ দিতে পারে। উষ্ণতা পার্থক্য কম হওয়ায় এই ত্রুটির ফল অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ হতে পারে। এই ত্রুটি অপনয়ন করার জন্যই থার্মোমিটার দুটির স্থান হস্তান্তরের প্রয়োজন। কীভাবে এই ত্রুটি অপনীত হয় সেটি দেখা যাক।

ধরুন, A ও B চাকতির প্রকৃত উষ্ণতা θ_A এবং θ_B। T_1 ও T_2 থার্মোমিটার, ধরা যাক, θ_A বা θ_B উষ্ণতায় যথাক্রমে E_1 ও E_2 বেশি পাঠ দেয়। সেক্ষেত্রে সারণি-5 এর

$$\theta_1' = \theta_B + E_1,\ \theta_2' = \theta_A + E_2,\ \theta_1'' = \theta_B + E_2,\ \theta_2'' = \theta_A + E_1$$

$$\therefore \Delta\theta_1 = \theta_B + E_1 - \theta_A - E_2,\ \therefore \Delta\theta_2 = \theta_B + E_2 - \theta_A - E_1,\ \frac{1}{2}(\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2) = \theta_B - \theta_A;$$

অর্থাৎ নির্ণীত $(\theta_1 - \theta_2)$ এর মান $(\theta_B - \theta_A)$ এর সমান।

থার্মোমিটারের ত্রুটি অপনয়ন করার একটি বিকল্প পদ্ধতি আছে। এটি হল T_1 ও T_2 থার্মোমিটারের কুণ্ডদুটিকে বীকারে 90 – 95°c উষ্ণতার জলে পাশাপাশি রেখে দুটির পাঠ নেওয়া এবং দুটি পাঠের পার্থক্য থেকে $(E_1 - E_2)$ এর মান সরাসরি জেনে নেওয়া। সেক্ষেত্রে $\Delta\theta_1 - (E_1 - E_2)$ নির্ণয় করে $(\theta_B - \theta_A)$ এর মান সরাসরি জানা যাবে।

5.7 প্রশ্নাবলি

1. লী-এর পদ্ধতিতে আপনি কি কোন সুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা মাপতে পারবেন ?

2. (a) লী-এর পদ্ধতি কুপরিবাহী পদার্থটিকে একটি পাতলা চাকতির আকারে নেওয়া হয়। (b) চাকতিটি পুরু হলে কী অসুবিধা হত ?

3. কুপরিবাহী চাকতিটির বেধ মাপার সময় A ও B চাকতির মধ্যে রেখে মাপা হয়েছে। এই বেধ সরাসরি স্ক্রুগেজ দিয়ে আলাদা করে মাপা যায় কি ?

4. কুপরিবাহী চাকতিটির তল উঁচুনিচু হলে কোন অসুবিধা হবে কি ?

5. এই পরীক্ষার যন্ত্রব্যবস্থাটি এমন জায়গায় রাখা দরকার যেখানে এলোমেলো বায়ুপ্রবাহ নেই। এর কারণ কী ?

5.8 সারাংশ

এখানে কুপরিবাহী পদার্থের পরিবাহিতা মাপার জন্য লী-এর পদ্ধতি বর্ণিত হয়েছে। এই পরীক্ষার দুটি অংশ আছে—স্থিরাবস্থা ও শীতলন। এই দুটি অংশের পরীক্ষা ব্যবস্থা ও তার উপাত্ত থেকে উপযুক্ত সমীকরণের সাহায্যে K এর মান নির্ণয়ের পদ্ধতি আলোচনা করা হয়েছে। এই পরীক্ষার দ্বারা নির্ণীত ফলে

কী ত্রুটি হতে পারে তার পরিমাপ করার পদ্ধতি আলোচিত হয়েছে। এছাড়া, এই পরীক্ষা ব্যবস্থা কিভাবে সাজানো ও কোথায় রাখা দরকার তাও আলোচিত হয়েছে।

এই পরীক্ষাটির সাহায্যে পাতলা পর্দার আকারে যে কোন কুপরিবাহী পদার্থের নির্দিষ্ট ব্যাসের চাকতি কেটে নিয়ে তার তাপ পরিবাহিতা নির্ণয় করা যায়। তবে এই পরীক্ষাটি খুব সূক্ষ্মভাবে তাপ পরিবাহিতা নির্ণয়ের পক্ষে উপযুক্ত নয়।

5.9 উত্তরমালা

1. সুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা কুপরিবাহীর তুলনায় $10^2 - 10^3$ গুণ বেশি। 5.9 সূত্র থেকে বোঝা যায় যে S চাকতিটি সুপরিবাহী হলে A ও B চাকতির উষ্ণতা পার্থক্য $(\theta_1 - \theta_2)$ সমপরিমাণে কম হবে। ঐ ক্ষুদ্র উষ্ণতা পার্থক্যের পরিমাপ সম্ভব না হওয়ায় S চাকতির উপাদানের তাপ পরিবাহিতা মাপা যাবে না।

2. (a) তাপপ্রবাহের হার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের সাথে সমানুপাতিক ও বেধের সাথে ব্যস্তানুপাতিক। সেইজন্য, যেহেতু কুপরিবাহী পদার্থের তাপপরিবাহিতা (K) কম, তাপ প্রবাহের হারকে বৃদ্ধি করার জন্য বেশি প্রস্থচ্ছেদের ও কম বেধের কুপরিবাহী অর্থাৎ চাকতির আকারে কুপরিবাহী পদার্থ নেওয়া হয়।

(b)-এর উত্তর মন্তব্য (5.6)-এর (iv)এ আলোচনা করা হয়েছে।

3. পরীক্ষাধীন ব্যবস্থায় কুপরিবাহী পদার্থের S চাকতিটি ওপরের (B) ও নিচের (A) চাকতির মধ্যে চাপা অবস্থায় থাকে। এই চাপের ফলে কুপরিবাহী চাকতির বেধ না চাপা অবস্থায় বেধের থেকে সামান্য কম হতে পারে। যেহেতু স্থিরাবস্থার পরীক্ষার সময়ে চাকতিটি চাপা অবস্থায় থাকে এবং চাকতির বেধের ওপর পরিবহণ পদ্ধতিতে তাপ প্রবাহের হার নির্ভরশীল সেজন্য চাপা অবস্থাতেই চাকতির বেধ (d_s) মাপা উচিত।

5.4-এর (v) অংশ দ্রষ্টব্য।

4. হ্যাঁ, অসুবিধা হবে। প্রথমত চাকতিটির নির্দিষ্ট বেধ থাকবে না এবং বেধের সঠিক পরিমাপ করা যাবে না। দ্বিতীয়ত, কুপরিবাহী চাকতিটি A ও B চাকতি দুটির মধ্যে রাখলে সেটির উপরে ও নিচে বিচ্ছিন্ন বায়ুস্তর থাকবে। বায়ুর তাপ পরিবাহিতা অত্যন্ত কম হওয়ায় A ও B এর সঙ্গেও কুপরিবাহী চাকতির ভালো তাপীয় সংযোগ ঘটবে না।

5. স্থিরাবস্থার তথ্য ও শীতলন লেখচিত্রের জন্য তথ্য সংগ্রহের জন্য মোট কয়েক ঘন্টা সময় লাগতে পারে। এই সময়ে পারিপার্শ্বিক অবস্থার (বায়ুপ্রবাহ ও উষ্ণতা) পরিবর্তন বাঞ্ছনীয় নয়, কেননা এতে তাপ পরিচলন ও বিকিরণের হারের পরিবর্তন ঘটবে। এই কারণে এলোমেলো হাওয়ায় অথবা অন্য কোন তাপের উৎসের কাছে (যেমন ইলেকট্রিক হিটার) পরীক্ষাটি করা সঙ্গত হবে না।

একক 6 ☐ থেভ্‌ন্যাঁ, নর্টন এবং অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদন

গঠন

6.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য

6.2 জালক সম্পর্কিত উপপাদ্যগুলির সংক্ষিপ্ত আলোচনা
6.2.1 বৈদ্যুত জালক

6.3 থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য
6.3.1 নর্টনের উপপাদ্য
6.3.2 অন্যোন্যক উপপাদ্য

6.4 মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি
6.4.1 থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্যের প্রতিপাদন
6.4.2 নর্টনের উপপাদ্যের প্রতিপাদন
6.4.3 অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদন

6.5 ব্যবহার্য উপকরণসমূহ

6.6 পরীক্ষণের প্রণালী

6.7 পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত

6.8 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা

6.9 সারাংশ

6.10 প্রশ্নাবলি

6.1 প্রস্তাবনা

থেভ্‌ন্যাঁ, নর্টন এবং অন্যোন্যক উপপাদ্য হল বৈদ্যুত জালক (Electrical Network) সম্পর্কিত উপপাদ্য। একটি সরল তড়িৎ বর্তনী (circuit) অথবা জালককে ওহ্‌মের সূত্র (Ohm's Law) অথবা কার্চফের সূত্রাবলী (Kirchoff's Laws)-র সাহায্যেই বিশ্লেষণ করা যায়। কিন্তু একটি জটিল বর্তনীকে এইভাবে বিশ্লেষণ করা খুবই দুঃসাধ্য। জটিল বর্তনী বা জালককে যদি কোনোভাবে সরলীকৃত করা যায়, তাহলে তাকে বিশ্লেষণ করা তুলনামূলকভাবে সহজসাধ্য হয়। বৈদ্যুত জালক সম্পর্কিত উপপাদ্যগুলি এই বিষয়ে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে।

উদ্দেশ্য ঃ

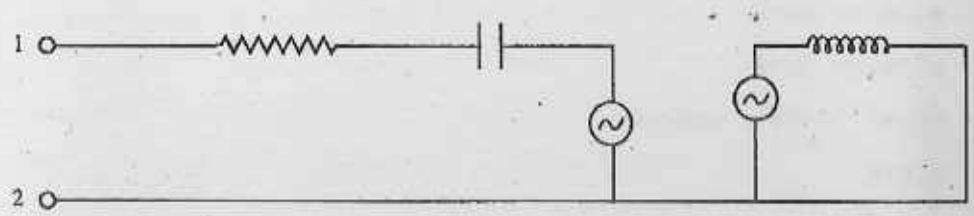
এই এককে আমরা থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য (Thevenin's Theorem), নর্টনের উপপাদ্য (Norton's Theorem) এবং অন্যোন্যক উপপাদ্য (Reciprocity Theorem)-র সাথে পরিচিত হব এবং পরীক্ষাভিত্তিক উপায়ে এদের সত্যতা প্রমাণ করার চেষ্টা করব। এই উপপাদ্যগুলির প্রতিপাদনের জন্য আমরা একটি অপ্রতিমিত হুইটস্টোন ব্রিজ (Unbalanced Whitstone Bridge)-কে উদাহরণ হিসাবে ব্যবহার করব। অর্থাৎ একটি অপ্রতিমিত হুইটস্টোন ব্রিজের ক্ষেত্রে আমরা উপপাদ্যগুলির সত্যতা যাচাই করব।

6.2 জালক সম্পর্কিত উপপাদ্যগুলির সংক্ষিপ্ত আলোচনা

পরীক্ষণ শুরু করার আগে বৈদ্যুত জালক এবং উপপাদ্যগুলি সম্পর্কে আমরা সংক্ষিপ্ত তত্ত্বগত আলোচনা করব।

6.2.1 বৈদ্যুত জালক ঃ

বৈদ্যুত জালক হল বিভিন্ন বর্তনী উপাদান (circuit element), যেমন রোধক (resistor), ধারক (capacitor), আবেশক (inductor), ভোল্টেজ উৎস (voltage source) ইত্যাদির সমন্বয়। জালকের উপাদানগুলির ভোল্টেজ ও প্রবাহ (current)-র সম্পর্ক রৈখিক (linear) হলে তাকে রৈখিক জালক (linear network) বলা হয়। জালকের দু'টি প্রান্ত থাকলে তাকে দ্বিপ্রান্তীয় জালক (two-terminal network) বলা হয়। 6.1 নং চিত্রে একটি রৈখিক, দ্বিপ্রান্তীয় জালক দেখানো হয়েছে।



চিত্র 6.1 : রৈখিক ; দ্বিপ্রান্তীয় বৈদ্যুত জালক

নিষ্ক্রিয় জালক ঃ

একটি বৈদ্যুত জালকের উপাদানগুলির কোনটি যদি একটি শক্তি উৎস (energy source) না হয়, তাহলে সেই জালককে নিষ্ক্রিয় জালক (passive network) বলা হয়।

সক্রিয় জালক ঃ

একটি সক্রিয় জালকের (active network) উপাদানগুলির মধ্যে অন্তত একটি শক্তি উৎস থাকতেই হবে।

শাখা বর্তনী ঃ

জালকের দুটি বিন্দুর মধ্যে বর্তনী উপাদান দ্বারা নির্মিত একটি পথকে শাখা বর্তনী (branch) বলা হয়।

বর্তনীজাল ঃ

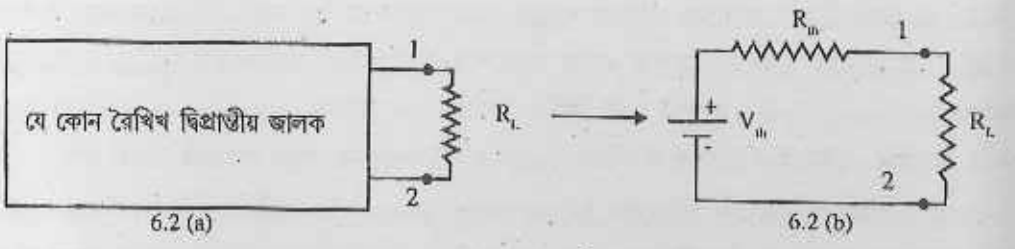
দুই বা তার অধিক শাখা বর্তনী দ্বারা নির্মিত একটি বন্ধ পথকে (closed path) বর্তনী জাল (mesh) বলা হয়। একটি বর্তনীজালের যে কোন একটি শাখা বর্তনীকে বাদ দিলে বাকী শাখা বর্তনীগুলি বন্ধ পথ তৈরি করতে পারে না।

বর্তনী সংযোগস্থল ঃ

যে বিন্দুতে দুই বা ততোধিক শাখা বর্তনী মিলিত হয় তাকে বর্তনী সংযোগস্থল (node or junction) বলা হয়।

6.3 থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য

থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য অনুযায়ী যে কোন রৈখিক দ্বিপ্রান্তীয় জালক তার প্রান্তবিন্দুদ্বয়ের মধ্যে একটি ভোল্টেজ উৎস V_{th} এবং তার সাথে শ্রেণীসমবায়ে যুক্ত (in series) একটি রোধ R_{th} দ্বারা গঠিত একটি সরলতর জালকের সমতুল্য। 6.2 (a) চিত্রে একটি দ্বিপ্রান্তীয়, রৈখিক জালক দেখানো হয়েছে যার প্রান্তদ্বয় 1 এবং 2-র সাথে একটি ভাররোধ (load resistance) R_L সংযুক্ত। সমতুল্য থেভ্‌ন্যাঁ বর্তনী (Thevenin equivalent resistance)টি 6.2 (b) চিত্রে দেখান হয়েছে। V_{th}-কে থেভ্‌ন্যাঁ ভোল্টেজ এবং R_{th}-কে থেভ্‌ন্যাঁ রোধ (Thevenin Voltage and Thevenin resistance) বলা হয়। V_{th}-র মান বার করতে হলে ভাররোধ R_L-কে বর্তনী থেকে বিচ্ছিন্ন করতে হবে। এর ফলে 1 এবং 2-র মধ্যে যে বিভব প্রভেদ (potential difference) সৃষ্টি হয় তাই V_{th}। অন্যদিকে R_{th}-র মান বার করতে হলে সমস্ত ভোল্টেজ উৎসকে তাদের আভ্যন্তরীণ রোধ (internal resistance) দ্বারা এবং সমস্ত প্রবাহের উৎসকে (current source) তাদের আভ্যন্তরীণ রোধ দ্বারা প্রতিস্থাপিত করতে হবে। এমতাবস্থায় 1 ও 2-র মধ্যে সমতুল্য রোধ (equivalent resistance)-ই হল R_{th}। এখানে উল্লেখ্য যে যদিও থেভ্‌ন্যাঁ উপপাদ্য শুধুমাত্র রৈখিক

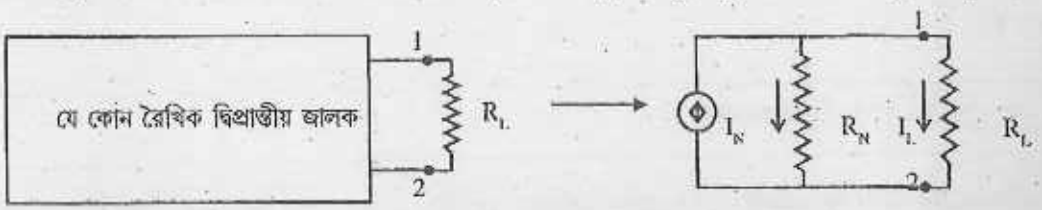


চিত্র 6.2 : যে কোন রৈখিক, দ্বিপ্রান্তীয় জালককে তার দুটি প্রান্ত 1, 2-র মধ্যে সমতুল্য থেভ্‌ন্যাঁ জালক দ্বারা প্রতিস্থাপন করা হয়েছে। R_L ভাররোধ (load resistance)।

জালকের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য, ভাররোধ R_L-র রৈখিক উপাদান (linear element) হওয়ার প্রয়োজন নেই। R_L অরৈখিক উপাদান (nonlinear element) হলেও থেভন্যাঁর উপপাদ্য প্রযোজ্য হবে।

6.3.1 নর্টনের উপপাদ্য ঃ

নর্টনের উপপাদ্যে একটি রৈখিক, দ্বিপ্রান্তীয় জালককে তার প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে একটি প্রবাহের উৎস (current source) I_N এবং তার সাথে সমান্তরালে (in parallel) অবস্থিত একটি রোধ R_N-র সমতুল্য বলে ধরা হয়। I_N-কে নর্টন প্রবাহ (Norton current) এবং R_N-কে নর্টন রোধ (Norton resistance) বলা হয় (6.3 নং চিত্র)। 6.3 নং চিত্রে যদি 1 এবং 2-কে লঘুপথ (short circuit) দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হলে ($R_L = 0$) যে তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হয় তাই I_N, অর্থাৎ $I_N = V_{th}/R_{th}$। অন্যদিকে $R_N = R_{th}$।



চিত্র 6.3 : একটি রৈখিক দ্বিপ্রান্তীয় জালককে 1 এবং 2-এর মধ্যে সমতুল্য নর্টন জালক দ্বারা প্রতিস্থাপন করা হয়েছে। R_L ভাররোধ।

6.3.2 অন্যোন্যক উপপাদ্য ঃ

অন্যোন্যতা শব্দের অর্থ হল ইনপুট এবং আউটপুটের পারস্পরিক বিনিময়যোগ্যতা (Interchangibility of input and output)। অর্থাৎ কোন বৈদ্যুত জালকের ইনপুট্ ভোল্টেজ বা প্রবাহের মান স্থির রেখে ইনপুট ও আউটপুট্ বিনিময় করলে, জালকের প্রতিক্রিয়ার (response) কোন পরিবর্তন হয় না। সুতরাং জালকের অন্তর্গত কোন বর্তনীজালের তড়িচ্চালক বল (emf) E এবং অপর একটি বর্তনীজালের প্রবাহ I-র অনুপাত, E এবং I-কে বিনিময় করলেও একই থাকবে তা যদি বর্তনীতে অন্য কোন ভোল্টেজ উৎস না থাকে। এটাই অন্যোন্যক উপপাদ্য। উদাহরণস্বরূপ একটি প্রতিমিত (balanced) হুইটস্টোন ব্রিজের কথা ধরা যাক। আমরা জানি যে ব্যাটারী এবং গ্যাল্ভানোমিটার (galvanometer)-র পারস্পরিক অবস্থান বিনিময় করলেও ব্রিজটি প্রতিমিত থাকার শর্তের কোন পরিবর্তন হয় না। এটি অন্যোন্যক উপপাদ্যের ফলশ্রুতি। অন্যোন্যক উপপাদ্য রোধক, ধারক, আবেশক, পারস্পরিক আবেশক (mutual inductance), ট্রানসফর্মার (transformer) ইত্যাদি দ্বারা নির্মিত রৈখিক এবং দ্বিপার্শ্ব (linear and trilateral) জালকের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। হুইটস্টোন ব্রিজের উদাহরণ থেকে এই উপপাদ্যের গুরুত্ব সহজেই বোঝা যায়।

আমরা একটি অপ্রতিমিত হুইটস্টোন ব্রিজের ক্ষেত্রে উপপাদ্যগুলি প্রতিপাদন করব। কারণ হুইটস্টোন ব্রিজ জালকের ক্ষেত্রে এই তিনটি উপপাদ্যই প্রযোজ্য। 6.4 নং অনুচ্ছেদে মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি (theory and working formulae), 6.5 নং অনুচ্ছেদে পরীক্ষণ প্রণালী (experimental procedure),

6.6 নং অনুচ্ছেদে পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত (experimental data), 6.7 নং অনুচ্ছেদে পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা (discussions) এবং 6.8 নং অনুচ্ছেদে সারাংশ (summary) দেওয়া হবে। পরিশেষে 6.9 নং অনুচ্ছেদে কিছু প্রশ্নাবলি দেওয়া থাকবে।

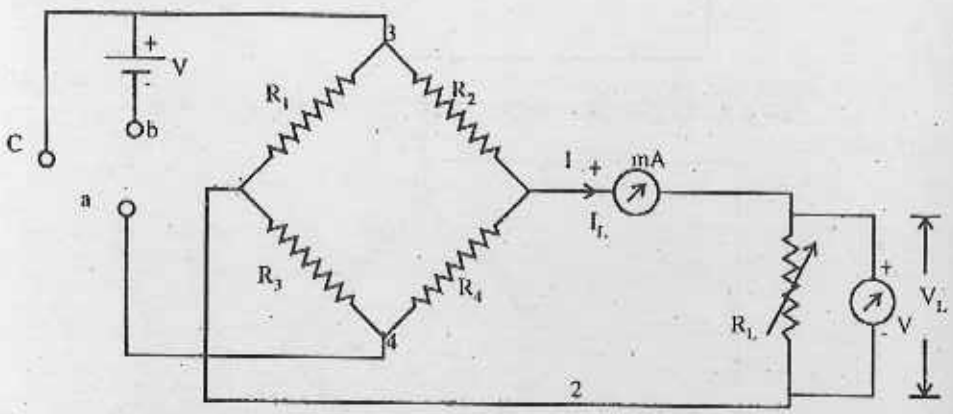
6.4 মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

6.4.1 থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্যের প্রতিপাদন ঃ

6.4 নং চিত্রে একটি হুইটস্টোন ব্রিজ দেখান হয়েছে। R_1, R_2, R_3, R_4 এর চারটি বাহুর রোধ। 1 এবং 2 জালকের প্রান্তবিন্দু এবং R_L ভাররোধ। আমরা 1 এবং 2 নং প্রান্তের বামদিকে অবস্থিত জালককে থেভ্‌ন্যাঁ সমতুল্য জালক দ্বারা প্রতিস্থাপিত করতে পারি। তাহলে আমাদের বর্তনীটি 6.2(a)-র বর্তনীর অনুরূপ হবে। V_{th} বার করতে হলে R_L-কে বর্তনী থেকে বিচ্ছিন্ন করতে হবে এবং a, b যুক্ত করতে হবে। এমতাবস্থায় 1, 2-র বিভবপার্থক্যই হল V_{th} (6.5 নং চিত্র দ্রষ্টব্য)।

$$\text{সুতরাং } V_{th} = V\left(\frac{R_3}{R_1+R_3} - \frac{R_4}{R_2+R_4}\right) \qquad \ldots(6.1)$$

($\because R_1, R_3$ শ্রেণিতে যুক্ত এবং R_2, R_4-র শ্রেণিতে যুক্ত)



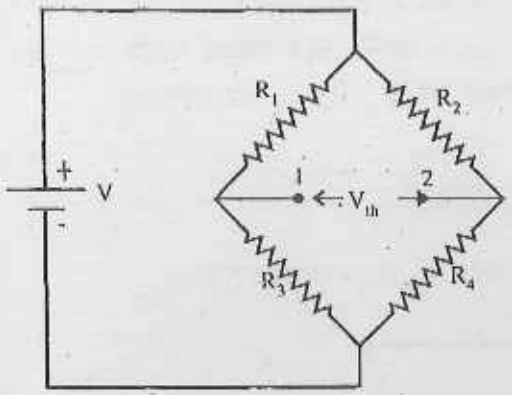
চিত্র 6.4 : থেভ্‌ন্যাঁ এবং নর্টনের উপপাদ্যের প্রতিপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী সংযোগ।

R_{th} বার করতে হলে a, b-কে বিচ্ছিন্ন করতে হবে এবং a, c-কে যুক্ত করতে হবে (ধরা হয়েছে ব্যাটারীর রোধ প্রায় নেই।) (6.6 নং চিত্র)। যেহেতু R_1, R_3 সমান্তরালে, R_2, R_4 সমান্তরালে এবং R_1, R_3-র সমবায়, R_2, R_4-র সমবায়ের সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত,

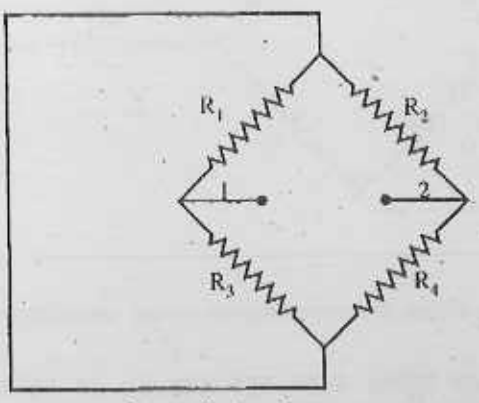
$$R_{th} = \frac{R_1R_3}{R_1+R_3} + \frac{R_2R_4}{R_2+R_4} \qquad \ldots\ldots(6.2)$$

(6.1) এবং (6.2) নং সমীকরণ ব্যবহার করে আপনি সহজেই V_{th} এবং R_{th}-র মান বার করতে পারেন। এবার 6.5 নং চিত্রের বর্তনীতে একটি মাল্টিমিটারের সাহায্যে আপনি 1 এবং 2-র মধ্যে বিভব প্রভেদ মাপতে পারেন। একে (6.1) নং সমীকরণ থেকে লব্ধ V_{th}-এর মানের সাথে তুলনা করতে পারেন। 6.6 নং চিত্রের বর্তনীতেও একটি মাল্টিমিটারের সাহায্যে 1,2-র মধ্যে রোধ মেপে, তাকে (6.2) নং সমীকরণ থেকে প্রাপ্ত মানের সাথে তুলনা করা যেতে পারে। এখন থেভ্‌ন্যাঁ সমতুল্য বর্তনী (Thevenin equivalent circuit)-তে ভাররোধ R_L-র মধ্য দিয়ে প্রবাহ $I_L = \frac{V_{th}}{R_{th} + R_L}$

সুতরাং ভাররোধের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ $V_L = I_L R_L = V_{th} - I_L R_{th}$ ....(6.3)



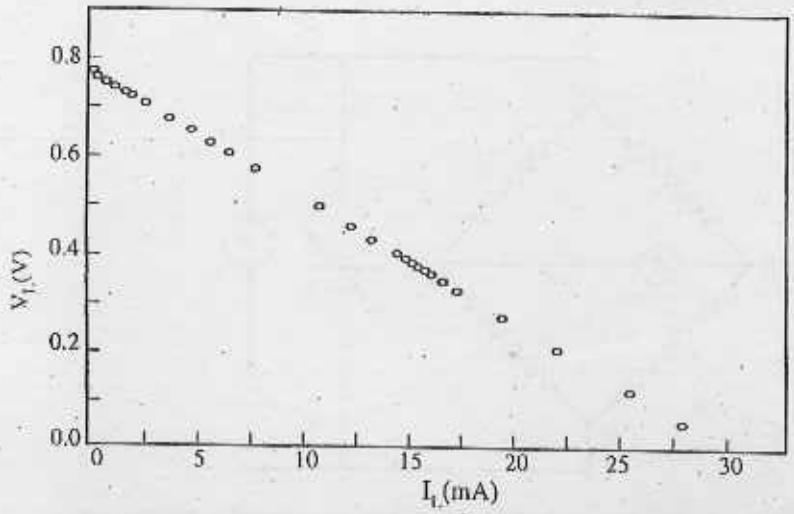
চিত্র 6.5 : হুইটস্টোন ব্রিজ জালকের থেভ্‌ন্যাঁ ভোল্টেজ বার করার পদ্ধতি।



চিত্র 6.6 : 6.4 নং চিত্রের হুইটস্টোন ব্রিজ জালকের R_{th} বার করার পদ্ধতি।

I_L-কে ভার প্রবাহ (load current) এবং V_L-কে ভার ভোল্টেজ (load voltage) বলা হয়। (6.3) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে I_L-কে x অক্ষ বরাবর এবং V_L-কে y অক্ষ বরাবর চিহ্নিত করে লেখচিত্র অঙ্কন করলে, লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হবে (6.7 নং চিত্র দ্রষ্টব্য)। ঐ সরলরেখার y অক্ষ বরাবর

অভিক্ষেপ (intercept) V_{th} এবং নতি R_{th}। এটি V_{th} এবং R_{th} বার করার বিকল্প পদ্ধতি। এখানে লক্ষণীয় যে R_{th} বার করার এই বিকল্প পদ্ধতিটি পূর্বোক্ত পদ্ধতি থেকে কিছুটা পৃথক কারণ এখানে ভোল্টেজ উৎসকে লঘুপথ (short circuit) দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হয়নি। যেহেতু এখানে 6.2 (b) চিত্রের থেভন্যাঁ সমতুল্য বর্তনী ব্যবহৃত হয়েছে, এটি পূর্বোক্ত পদ্ধতি থেকে অনেকটাই যথার্থ (accurate)।



চিত্র 6.7 : ভারপ্রবাহ I_L-র সাথে ভার ভোল্টেজ V_L-এর লেখচিত্র।

6.4.2 নর্টনের উপপাদ্যের প্রতিপাদন ঃ

6.3 নং চিত্রের নর্টন সমতুল্য বর্তনী (Norton equivalent circuit) থেকে দেখা যাচ্ছে যে, ভার প্রবাহ $I_L = I_N - \frac{V_L}{R_N}$ .....(6.4)

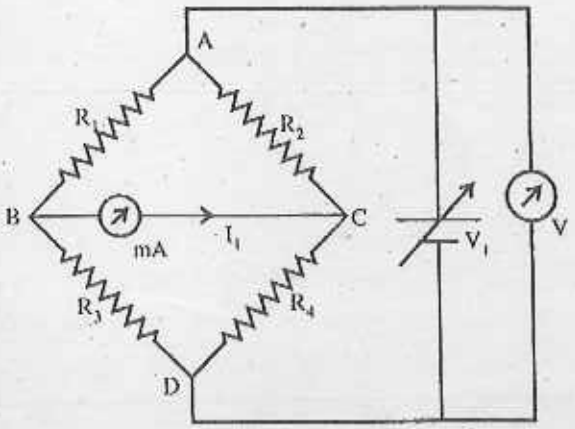
অর্থাৎ $I_L - V_L$ লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হবে, যার I_L অক্ষ বরাবর অভিক্ষেপ I_N এবং V_L অক্ষ বরাবর অভিক্ষেপ $I_N R_N$। (6.3) নং সমীকরণের সঙ্গে তুলনা করলে দেখা যাবে যে সরলরেখাটির নতি $-R_N$ এবং $V_{th} = I_N R_N$। অর্থাৎ $I_N = \frac{V_{th}}{R_N}$ .....(6.5)

সুতরাং (6.7) নং চিত্রের লেখচিত্র থেকেই আপনি I_N এবং R_N-র মান বার করতে পারেন। এদেরকে তত্ত্বগত মানের সঙ্গে তুলনা করে নর্টনের উপপাদ্য প্রতিপাদন করতে পারেন।

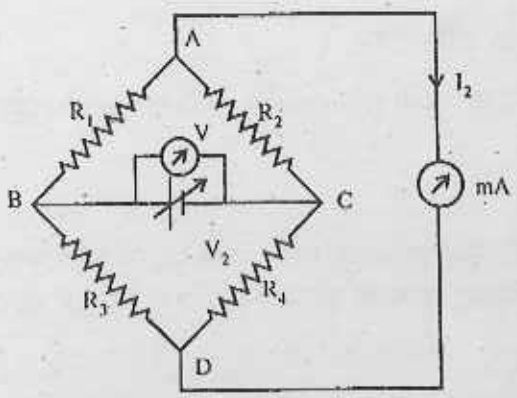
6.4.3 অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদন ঃ

অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদনের জন্যও আমরা হুইটস্টোন ব্রিজকে উদাহরণ হিসাবে ধরব। ধরা যাক 6.8.1 নং চিত্রে প্রদর্শিত হুইটস্টোন ব্রিজের A এবং D বিন্দুর মধ্যে আরোপিত ভোল্টেজ V এবং B থেকে C-র মধ্যে প্রবাহ I। এইবার পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসকে B এবং C-র মধ্যে স্থাপন করা হল

এবং A থেকে D-র মধ্যে প্রবাহ মাপা হল। অন্যোন্যক উপপাদ্য অনুযায়ী যদি B, C-র মধ্যে ভোল্টেজ V হয়, তাহলে A, D-র মধ্যে প্রবাহও I হবে। সুতরাং 6.8.1 নং চিত্রের বর্তনীতে আপনি যদি V-I লেখচিত্র অঙ্কন করেন এবং 6.8.2 নং চিত্রের বর্তনীতেও যদি V-I লেখচিত্র অঙ্কন করেন তাহলে এই দুটি লেখচিত্র প্রায় অভিন্ন হবে। তবে এদের একই স্কেলে (scale) অঙ্কন করতে হবে। এভাবে আপনি অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদন করতে পারেন।



চিত্র 6.8.1 : অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী সংযোগ।



চিত্র 6.8.2 : 6.8.1 নং চিত্রের অনুরূপ বর্তনী। শুধু ভোল্টেজ উৎস এবং মিলিঅ্যাম্মিটারের অবস্থান বিনিময় করা হয়েছে।

6.5 ব্যবহার্য উপকরণসমূহ

- বিদ্যুৎকোশ (Electric cell) অথবা নিয়ন্ত্রিত ভোল্টেজ উৎস (Regulated power supply)।
- চারটি কার্বন রোধক (Carbon resistor) অথবা পি. ও. বক্স (P. O. Box or Post Office Box) এবং রোধবাক্স (Resistance box)।

- একটি ভোল্টমিটার (Voltmeter)।
- একটি মিলি অ্যাম্‌মিটার (Milli ammeter)।
- ব্রেড বোর্ড (Bread board)।
- ডিজিটাল মাল্টিমিটার (Digital multimeter)।

6.6 পরীক্ষণের প্রণালী

- প্রথমে আপনি 6.4 নং চিত্রের অনুরূপ বর্তনী সংযোগ করুন। ভোল্টেজ উৎস হিসাবে সঞ্চয়ক কোশ (accumulator) অথবা কোন ইলেকট্রনিক ভোল্টেজ উৎস ব্যবহার করুন যাদের আভ্যন্তরীণ রোধ (internal resistance) নগন্য। বর্তনী সংযোগ করার জন্য একটি ব্রেড বোর্ড নিন এবং তাতে চারটি কার্বন রোধ যুক্ত করুন। ব্রেড বোর্ড না থাকলে একটি পি. ও. বক্স ব্যবহার করুন। পি. ও. বক্সের তিনটি বাহু এবং একটি রোধবাক্স, অর্থাৎ মোট চারটি রোধ হুইটস্টোন ব্রিজের চারটি বাহু হিসাবে ব্যবহৃত হতে পারে। R_1, R_2 ইত্যাদির মান এমনভাবে বাছাই করুন যাতে ব্রিজটি যেন কখনই প্রতিমিত না হয়। ভাররোধ R_L-র জন্য রোধবাক্স ব্যবহার করুন। তার প্রবাহ পরিমাপের জন্য একটি মিলিঅ্যাম্‌মিটার (Milliammeter, MA) এবং তার ভোল্টেজ পরিমাপের জন্য ডিজিটাল ভোল্টমিটার ব্যবহার করুন।

- (6, 1) এবং (6, 2) নং সমীকরণ ব্যবহার করে V_{th} এবং R_{th}-র তত্ত্বগত মান বার করুন। (6,5) নং সমীকরণ ব্যবহার করে I_N-র তত্ত্বগত মান বার করুন।

R_L-কে বর্তনী থেকে বিচ্ছিন্ন করুন ; a, b যুক্ত করুন। 1 ও 2-র মধ্যে বিভব প্রভেদ পরিমাপ করুন। এটি V_{th}। এবার a, b-কে বিযুক্ত করে, a, c যুক্ত করুন এবং একটি ডিজিটাল মাল্টিমিটারের সাহায্যে 1 এবং 2-র মধ্যে রোধের পরিমাপ করুন (R_L কিন্তু বর্তনী থেকে বিচ্ছিন্নই থাকবে।) এটি $R_{th} = R_N$। V_{th} এবং R_{th}-র তত্ত্বগত এবং পরীক্ষালব্ধ মান তুলনা করুন।

- বর্তনীটিকে 6.4 নং চিত্রের অবস্থানে পুনরায় নিয়ে আসুন। a ও b-কে যুক্ত করুন। R_L-র বিভিন্ন মানের জন্য V_L ও I_L পরিমাপ করুন। অন্তত (10-15)টি পাঠ (reading) নেওয়া প্রয়োজন। প্রত্যেকটি পাঠ নেওয়ার আগে উৎসের ভোল্টেজ স্থির আছে কিনা দেখে নিন। রোধবাক্সে $R_L = 0$ এবং $R_L = \infty$ এই দুটি রোধ সাধারণতঃ থাকে। $R_L = 0$-র সংশ্লিষ্ট ভার প্রবাহই হল I_N আর $R_L = \infty$-র সংশ্লিষ্ট ভার ভোল্টেজই হল V_{th}।

- I_L-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_L-কে y-অক্ষ বরাবর চিহ্নিত করে লেখচিত্র অঙ্কন করুন। আপনি (6.7) নং চিত্রের অনুরূপ সরলরেখা পাবেন। লেখচিত্রের y-অভিক্ষেপ হল V_{th}; x অভিক্ষেপ হল I_N এবং নতি $-R_{th}$। যেহেতু $R_{th} = R_N$, এই লেখচিত্রটি থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য এবং নর্টনের উপপাদ্য উভয়কেই প্রতিপাদন করে।

- অন্যোন্যক উপপাদ্য প্রতিপাদনের জন্য প্রথমে 6.8.1 নং চিত্রের অনুরূপ বর্তনী সংযোগ করুন এবং ইনপুট ভোল্টেজ V_1-র বিভিন্ন মানের জন্য প্রবাহ I_1 নির্ণয় করুন। V_1-কে x-অক্ষ বরাবর এবং I_1-কে

y-অক্ষ বরাবর চিহ্নিত করে লেখচিত্র অঙ্কন করুন। লেখচিত্রটি অবশ্যই একটি সরলরেখা হবে। এবার 6.8.2 নং চিত্রের অনুরূপ বর্তনী সংযোগ করুন এবং V_2-র বিভিন্ন মানের জন্য প্রবাহ I_2-র পরিমাপ করুন। V_2-কে x-অক্ষ বরাবর এবং I_2-কে y-অক্ষ বরাবর পূর্বের লেখচিত্রের সঙ্গে একই স্কেলে লেখচিত্রায়িত করুন। অন্যোন্যক উপপাদ্য অনুযায়ী এই দুটি লেখচিত্র সমাপতিত (coincident) হবে।

6.7 পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত

- V = ..., R_1 = ..., R_2 = ..., R_3 = ..., R_4 = ...

সারণি (Table) 6.1

ব্যবহৃত যন্ত্র	সীমা (range)	সর্বনিম্ন বিভাজন (smallest resolution)
ভোল্টমিটার		
মিলি অ্যামমিটার		

- V_{th}, I_N এবং R_{th}-র তত্ত্বগত মান এবং পরীক্ষালব্ধ মান নির্ণয়

সারণি 6.2

V_{th}(V)			R_{th}(Ω)			I_N(mA)		
তত্ত্বগত মান	পরীক্ষালব্ধ মান		তত্ত্বগত মান			তত্ত্বগত মান		
	সরাসরি পরিমাপের সাহায্যে প্রাপ্ত	V_L–I_L লেখচিত্র থেকে প্রাপ্ত (6.3 নং সারণি)		সরাসরি পরিমাপের সাহায্যে প্রাপ্ত	V_L–I_L লেখচিত্র থেকে প্রাপ্ত (6.3 নং সারণি)		সরাসরি পরিমাপের সাহায্যে প্রাপ্ত	V_L–I_L লেখচিত্র থেকে প্রাপ্ত (6.3 নং সারণি)

- ভার ভোল্টেজ V_L এবং ভার প্রবাহ I_L-র উপাত্তসমূহ

সারণি 6.3

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	V_L(V)	I_L(mA)

- গণনা : $V_{th} = V_L\,(I_L = 0) =$ ..... $I_N = I_L\,(V_L = 0) =$ .....
  $R_{th} =$ .....
- অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় উপাত্তসমূহ

সারণি 6.4

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	V_1(V)	I_1(mA)	V_2(V)	I_2(mA)

- সিদ্ধান্ত :

6.8 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা

- R_1, R_2, R_3 এবং R_4-র মান এরূপ হওয়া উচিত যাতে ব্রিজটি যেন কখনই প্রতিমিত না হয়, অর্থাৎ $R_1/R_2 \neq R_3/R_4$। ধরা যাক $R_1/R_3 = x$ এবং $R_2/R_4 = x'$। সেক্ষেত্রে (6.1) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে,

$$V_{th} = V\left(\frac{1}{1+x} - \frac{1}{1+x'}\right)$$

$$R_{th} = \frac{R_1}{1+x} + \frac{R_2}{1+x'}$$

যেহেতু $I_L = V_{th}/(R_{th} + R_L)$, V_{th}-র মান যত বেশি হবে এবং /অথবা R_{th}-র মান যত কম হবে, I_L-এর মান তত বেশি হবে। ফলে I_L পরিমাপের যথার্থতাও বৃদ্ধি পাবে। সুতরাং x এবং x' -র অন্তর (difference) যত বেশি হবে, I_L পরিমাপের সূক্ষ্মতাও তত বেশি হবে। অন্যদিকে R_{th}-র মান হ্রাস করেও I_L-র মান বৃদ্ধি করা যেতে পারে। তবে সবসময় লক্ষ্য রাখতে হবে যে R_1, R_2 ইত্যাদির সর্বোচ্চ ওয়াট্‌ক্ষরণের সীমা যেন লঙ্ঘিত না হয়।

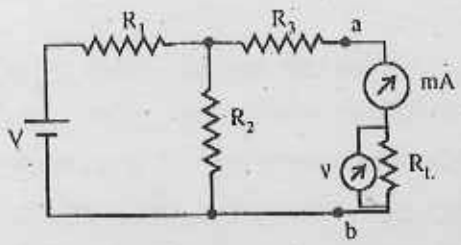
- বিভব প্রভেদ পরিমাপের জন্য উচ্চ আভ্যন্তরীণ রোধ বিশিষ্ট ভোল্টমিটার অথবা ডিজিটাল মাল্টিমিটার ব্যবহার করা প্রয়োজন।
- উপরোক্ত আলোচনায় আমরা ভোল্টেজ উৎসের আভ্যন্তরীণ রোধ উপেক্ষা করেছি।
- প্রত্যেকবার পাঠ নেওয়ার পূর্বে ভোল্টেজ উৎসের বিভব ধ্রুবমানে আছে কিনা তা পরীক্ষা করে নেওয়া প্রয়োজন।

6.9 সারাংশ

এই এককে আমরা কয়েকটি জালক সম্পর্কিত উপপাদ্যের সম্বন্ধে আলোচনা করলাম। তদুপরি পরীক্ষাভিত্তিক উপায়ে কিভাবে উপপাদ্যগুলির সত্যতা প্রতিপাদন করা যায় তাও আলোচনা করা হল। একটি অপ্রতিমিত হুইটস্টোন ব্রিজের ক্ষেত্রে আমরা জালক উপপাদ্যগুলির প্রতিপাদন করার পদ্ধতি সম্পর্কে আলোচনা করেছি।

6.10 প্রশ্নাবলি

- থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য বলতে আপনি কী বোঝেন ?
- নর্টনের উপপাদ্য কী ?
- অন্যোন্যক উপপাদ্যটি বিবৃত করুন।
- রৈখিক বর্তনী উপাদান এবং অরৈখিক বর্তনী উপাদান বলতে আপনি কী বোঝেন ?
- সক্রিয় এবং নিষ্ক্রিয় বর্তনী উপাদান কী ?
- আদর্শ ভোল্টেজ উৎস (Ideal voltage source) এবং আদর্শ প্রবাহের উৎস (Ideal current source) বলতে কী বোঝায় ?
- থেভন্যাঁ, নর্টন এবং অন্যোন্যক উপপাদ্য কোন ধরনের জালকের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য ?
- কার্চফের সূত্রগুলি বিবৃত করুন।
- নিম্নলিখিত বর্তনীর ক্ষেত্রে থেভ্‌ন্যাঁ ও নর্টনের উপপাদ্য প্রতিপাদন করুন।



একক 7 ❐ পারদ তাপমানের সাহায্যে থার্মিস্টরের অংশাঙ্কন এবং পটিচ্ছেদ নির্ণয়

গঠন

7.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য
7.2 মূলতত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি
7.3 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি
7.4 পরীক্ষণের কার্যক্রম
7.5 পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত
7.6 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা
7.7 সারাংশ
7.8 প্রশ্নাবলি

7.1 প্রস্তাবনা

আপনারা জানেন যে ধাতুর (metal) রোধাঙ্ক (resistivity) উষ্ণতার (temperature) সাথে বৃদ্ধি পায়। অন্যদিকে অর্ধপরিবাহীর (semiconductor) রোধাঙ্ক উষ্ণতার সাথে হ্রাস পায়। 0°C–100°C উষ্ণতার মধ্যে ধাতুর রোধাঙ্ক প্রতি °C উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে গড়ে 0.4–0.5% বৃদ্ধি পায়। অন্যদিকে একই উষ্ণতার সীমার মধ্যে সিলিকন, জার্মেনিয়াম ইত্যাদি অর্ধপরিবাহীর রোধাঙ্ক প্রতি °C উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে গড়ে 6-7% হ্রাস পায়। উষ্ণতার সঙ্গে অর্ধপরিবাহীর রোধাঙ্কের এই তীক্ষ্ণ হ্রাসবৃদ্ধির জন্য এদের তাপ সুবেদী রোধক (thermally sensitive resistor) বা এককথায় থার্মিস্টর (thermistor) বলা হয়। থার্মিস্টরের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে তাকে উষ্ণতা পরিমাপের (temperature measurement) কাজে ব্যবহার করা হয়। এছাড়াও উষ্ণতার নিয়ন্ত্রক (temperature controller) হিসাবে, রেডিও কম্পাঙ্কের উৎসের ক্ষমতার (radio-frequency power) পরিমাপের কাজেও থার্মিস্টর ব্যবহৃত হয়।

পরীক্ষণের প্রথম পর্যায়ে আপনি একটি থার্মিস্টরের অংশাঙ্কন করবেন। দ্বিতীয় পর্যায়ে থার্মিস্টরের উপাদানের পটিচ্ছেদ নির্ণয় করবেন।

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- একটি থার্মিস্টরের (Thermistor) অংশাঙ্কন করতে পারবেন।
- থার্মিস্টরের উপাদানের পটিচ্ছেদ (Band gap) নির্ণয় করতে পারবেন।

7.2 মূলতত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

উষ্ণতার সঙ্গে থার্মিষ্টরের রোধাঙ্কের পরিবর্তন নিম্নলিখিত সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।

$$P = A \exp (E_g/2\ kT)$$

যেখানে $P = T°K$ উষ্ণতায় থার্মিষ্টরের রোধাঙ্ক

k = বোলট্জম্যান ধ্রুবক (Boltzmann constant)

E_g = যোজ্যতা ব্যাণ্ড (Valence band) এবং পরিবহণ ব্যাণ্ডের (Conduction band) মধ্যে ব্যবধান বা পটিচ্ছেদ। এবং $\frac{1}{A} = 2e\left(\frac{2\pi hT}{h^2}\right)^{3/2}(m^*_e m^*_h)^{3/4}(\mu_e + \mu_h)$ ....(7.2)

যেখানে e = ইলেকট্রনের আধান (Electronic charge)

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক (Planck's constant)

m^*_e = ইলেকট্রনের কার্যকর ভর (Effective mass)

m^*_h = হোলের (Hole) কার্যকর ভর

μ_e = ইলেকট্রনের গতিশীলতা (Mobility)

μ_h = হোলের গতিশীলতা

(7.1) নং সমীকরণের ডান পার্শ্বের প্রথম রাশিটি (A), উষ্ণতার সাথে দ্বিতীয় রাশির তুলনায় অনেক ধীরে পরিবর্তিত হয়। সেইজন্য উক্ত সমীকরণে A-কে ধ্রুবরাশি হিসাবে মনে করা যেতে পারে।

সুতরাং থার্মিষ্টরের রোধ $R = B \exp (E_g/2kT)$ ....(7.3)

যেখানে B হল অপর একটি ধ্রুবক যা থার্মিষ্টরের আকার এবং জ্যামিতির উপর নির্ভর করে কিন্তু উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না। যেহেতু $l\text{n}R = l\text{n}B + \frac{E_g}{2kT}$ ....(7.4)

$\frac{1}{T}$-কে x-অক্ষ বরাবর এবং lnR-কে y-অক্ষ বরাবর লেখচিত্রায়িত করলে একটি সরলরেখা পাওয়া যাবে যার নতি $m = \frac{E_g}{2k}$,

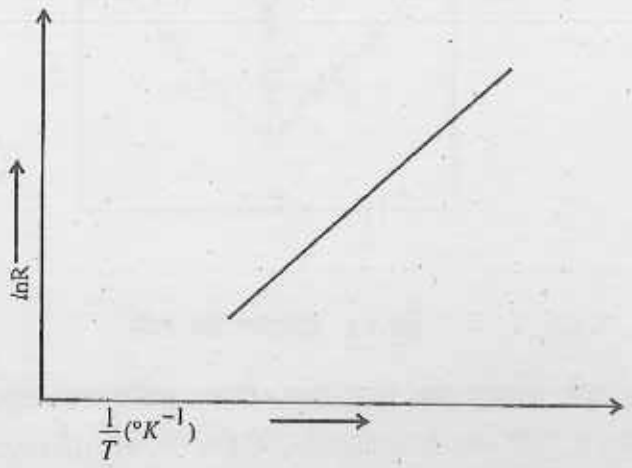
সুতরাং $Eg = 2\ km$, $k = 1.381 \times 10^{-23}$ Joule/°K $= 8.62 \times 10^{-5}$ eV/°K ...(7.5)

(7.5) নং সমীকরণের সাহায্যে পটিচ্ছেদ নির্ণয় করা যায়। থার্মিষ্টরের রোধ (R) নির্ভুলভাবে নির্ণয়

করার জন্য একটি হুইটস্টোন ব্রিজ বর্তনী (Whetstone bridge circuit) ব্যবহার করা যেতে পারে (7.2 নং চিত্র)। হুইটস্টোন ব্রিজের তিনটি বাহুর রোধ যথাক্রমে R_1, R_2, R_3 হলে এবং থার্মিস্টারের রোধ R_{th} হলে

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_{th}} \quad \therefore R_{th} = R_3 \frac{R_2}{R_1}$$

(7.6) নং সমীকরণের সাহায্যে থার্মিস্টারের রোধ নির্ণয় করা যেতে পারে।



চিত্র 7.1 : lnR-র সঙ্গে $\frac{1}{T}$-র পরিবর্তনের লেখচিত্র

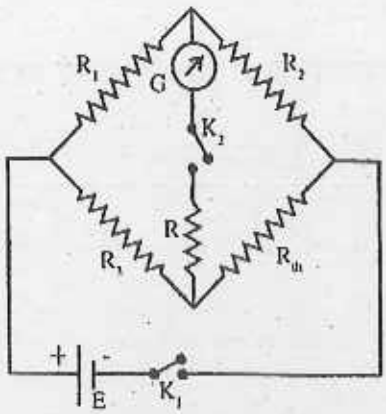
7.3 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি

থার্মিস্টর, প্যারাফিন তেল (paraffin oil), একটি বড়ো বিকার (beaker), টেস্ট টিউব (test tube), বুন্‌সেন্ বার্ণার (bunsen burner) অথবা ইলেকট্রিক হট্ প্লেট (electric hot plate), স্ট্যান্ড (stand), পোস্ট অফিস বাক্স (Post Office Box or P. O. Box), আংশিক রোধবাক্স (fractional resistance box), ডি. সি. ভোল্টেজ উৎস, থার্মোমিটার (thermometer), ডিজিটাল মাল্টিমিটার (digital multimeter)।

7.4 পরীক্ষণের কার্যক্রম

থার্মিস্টরের প্রান্তদ্বয় দুটি লম্বা তারের সঙ্গে ঝালাই করে নিন। একটি ডিজিটাল মাল্টিমিটারের সাহায্যে এর রোধ পরিমাপ করে নিন। কক্ষ উষ্ণতায় (room temp.) এই রোধের মান (R_{th}) 1 kΩ থেকে 10kΩ-র মধ্যে হলে 7.2 নং চিত্রের ন্যায় হুইটস্টোন ব্রিজ বর্তনী তৈরি করুন। হুইটস্টোন ব্রিজের প্রথম দুটি বাহুতে 1 kΩ করে রোধ সংশ্লিষ্ট করুন। ডি. সি. ভোল্টেজ উৎস হিসাবে তড়িৎকোশ (electrical cell) ব্যবহার করুন। গ্যাল্‌ভানোমিটার হিসাবে ঝুলন্ত কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার (suspended coil galvanometer)

ব্যবহার করাই শ্রেয়, নতুবা পরিমাপের যাথার্থ্য (accuracy) বজায় থাকবে না। ব্রিজটি অপ্রতিমিত (unbalanced) অবস্থায় গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করার জন্য একটি রোধ বাক্স R-এর সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত করুন (7.2 নং চিত্র)।



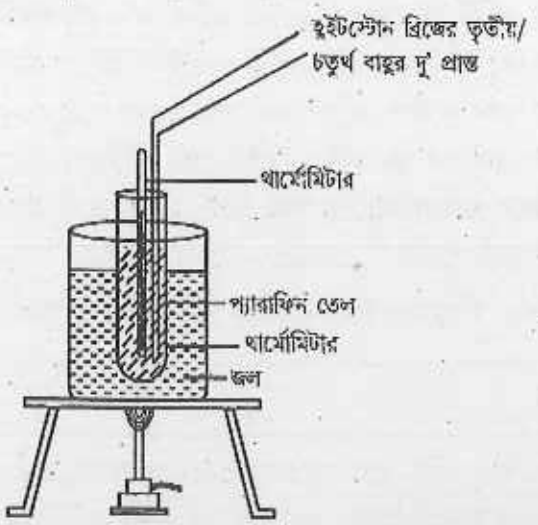
চিত্র 7.2: হুইটস্টোন ব্রিজ বর্তনী

R বাক্সে কিছু বেশি পরিমাণ রোধ দিয়ে রাখুন। ব্রিজের তৃতীয় বাহুর রোধ $R_3 = 0$ নিন। ব্যাটারীর চাবি K_1 বন্ধ রাখুন। K_2 চাবি বন্ধ করে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ (deflection) লক্ষ্য করুন। তৃতীয় বাহুতে সর্বোচ্চ মানের রোধ যুক্ত করে পুনরায় গ্যাল্‌ভানোমিটারের বিক্ষেপ লক্ষ্য করুন। দুবারের বিক্ষেপ দুটি বিপরীত দিকে হলে বুঝতে হবে তড়িৎবর্তনীর সংযোগ সঠিক আছে। নাহলে পুনরায় বর্তনীসংযোগ পরীক্ষা করে ত্রুটি দূর করুন।

R_3-র মান পরিবর্তন করতে থাকুন যতক্ষণ না পর্যন্ত গ্যাল্‌ভানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য হয়। বিক্ষেপ শূন্যের কাছাকাছি হলে R বাক্সের রোধ কমিয়ে দিন। প্রয়োজনে শূন্য করে দিন। ফলে গ্যাল্‌ভানোমিটারের বিক্ষেপ অনেক বেড়ে যাবে এবং আপনার পরিমাপের সূক্ষ্মতাও বাড়বে। R_3-র মান সূক্ষ্মভাবে সমন্বয়িত করে ব্রিজটি সম্পূর্ণ প্রতিমিত (balanced) অবস্থায় নিয়ে আসুন। প্রয়োজনে ব্রিজের তৃতীয় বাহুর সাথে একটি আংশিক রোধবাক্স (fractional resistance box) শ্রেণিসমবায়ে যুক্ত করুন। এখন $R_{th} = R_3$।

এবার থার্মিস্টরটিকে একটি থার্মোমিটার (যার সর্বনিম্ন বিভাজন (minimum resolution) 0.1°C)-এর সঙ্গে বেঁধে নিন। একটি টেষ্ট টিউবে প্যারাফিন তেল নিয়ে তার মধ্যে থার্মোমিটার সহ থার্মিস্টারটিকে ডুবিয়ে দিন। একটি বড়ো বিকারে জল নিয়ে তার মধ্যে টেষ্টটিউবটি আংশিক নিমজ্জিত রাখুন। ষ্ট্যাণ্ডের সাহায্যে থার্মোমিটার ও টেষ্টটিউবটি যথাযথ অবস্থানে স্থির রাখুন (7.3 নং চিত্র দেখুন)। জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে থাকুন এবং উপরোক্ত পদ্ধতিতে বিভিন্ন উষ্ণতায় থার্মিস্টরের রোধ পরিমাপ করতে থাকুন। উষ্ণতার সঙ্গে রোধের লেখচিত্র অঙ্কন করুন। এটাই থার্মিস্টারের অংশাঙ্কন। $R_{th} < 1\,k\Omega$ হলে তৃতীয় বাহুর রোধ $R_3 = 1k\Omega$ নিন এবং চতুর্থ বাহুতে R_{th}-র সঙ্গে একটি আংশিক রোধবাক্স শ্রেণিসমবায়ে যুক্ত

করুন। বর্তনীটি একই থাকবে। এবার আংশিক রোধবাক্সের রোধ পরিবর্তন করে ব্রিজটি প্রতিমিত অবস্থায় আনুন। এই অবস্থায় আংশিক রোধবাক্সের রোধ R হলে, $R_{th} = 1000 - R\,\Omega$ ।



চিত্র 7.3

পটিচ্ছেদ নির্ণয়ের জন্য $\ln R - \frac{1}{T}$ বক্রের দুটি বিন্দু নিন। বিন্দুদ্বয়ের অনুষঙ্গী উষ্ণতা T_1, T_2 এবং অনুষঙ্গী থার্মিস্টরের রোধ যথাক্রমে R_1 ও R_2 হলে সরলরেখার নতি $m = \frac{\ln R_2 - \ln R_1}{1/T_2 - 1/T_1}$

(7.5) নং সমীকরণ অনুসারে পটিচ্ছেদ $E_g = 2\,\text{km}$ ।

7.5 পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত

থার্মিস্টরের অংশাঙ্কন ঃ

সারণি 7.1

ক্রমিক সংখ্যা	উষ্ণতা t(°C)	উষ্ণতা T(°K) =t + 273	থার্মিস্টারের রোধ R (kΩ)	ln(1/R)

7.6 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা

- কক্ষ উষ্ণতায় থার্মিস্টরের রোধ 10 kΩ-র অধিক হলে এই পদ্ধতিতে রোধ পরিমাপ করা যাবে না। সেক্ষেত্রে একটি প্রবাহ উৎস (current source) থেকে থার্মিস্টরের মধ্যে নির্দিষ্ট মানের প্রবাহ পাঠিয়ে এবং থার্মিস্টরের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য (V) পরিমাপ করে এর রোধ R_{th} (=V/I) পরিমাপ করাই শ্রেয়। অন্যদিকে ব্যবহৃত থার্মিস্টরের রোধ যত কম হবে হুইটস্টোন ব্রিজ পদ্ধতিতে এর রোধ পরিমাপের যথার্থতা তত বৃদ্ধি পাবে। ব্রিজ পদ্ধতিতে রোধ পরিমাপের সময় ব্রিজের চারটি বাহুর রোধ যতটা সম্ভব কাছাকাছি নেওয়া উচিত কারণ সেক্ষেত্রে ব্রিজের সুবেদিতা (sensitivity) সর্বাধিক হয়।
- প্রত্যেবার রোধ পরিমাপের সময় লক্ষ্য রাখুন উষ্ণতা যেন পরিবর্তিত না হয়।

7.7 সারাংশ

এই এককে আমরা একটি থার্মিস্টরের অংশাঙ্কন অর্থাৎ উষ্ণতার সঙ্গে থার্মিস্টারের রোধের পরিবর্তন কীভাবে পরীক্ষামূলক উপায়ে নির্ণয় করা যায় সে সম্পর্কে বিস্তারিতভাবে আলোচনা করলাম। একই পরীক্ষার সাহায্যে থার্মিস্টরের পটিচ্ছেদ নির্ণয় করা সম্পর্কেও আলোচনা করা হল।

7.8 প্রশ্নাবলি

- যোজ্যতা ব্যান্ড এবং পরিবহণ ব্যান্ড বলতে কী বোঝায় ?
- পটিচ্ছেদ বলতে কী বোঝায় ?
- কয়েকটি পরিচিত ধাতু, অর্ধপরিবাহী এবং কুপরিবাহী পদার্থের উদাহরণ দিন।
- ধাতু, অর্ধপরিবাহী এবং কুপরিবাহী পদার্থের মধ্যে তফাৎ কী ? পটিচ্ছেদের মান অনুসারে এদের মধ্যে তুলনা করুন।
- থার্মিস্টর বলতে কী বোঝায় ?
- পটিচ্ছেদ অন্য কী উপায়ে নির্ণয় করা যায় ?

  উঃ আলোক পরিবাহিতা (Photo-conductivity)-র সাহায্যে।

একক 8 ❐ ট্রানজিষ্টরের কমন বেস বা কমন এমিটার বর্তনীর ইন্‌পুট্‌ এবং আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্য লেখ অঙ্কন।

গঠন

8.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য

8.2 মূলতত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি
8.2.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস
8.2.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

8.3 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি

8.4 পরীক্ষণের প্রণালী
8.4.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস
8.4.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

8.5 পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত
8.5.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস
8.5.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

8.6 পরীক্ষা সম্পর্কিত আলোচনা

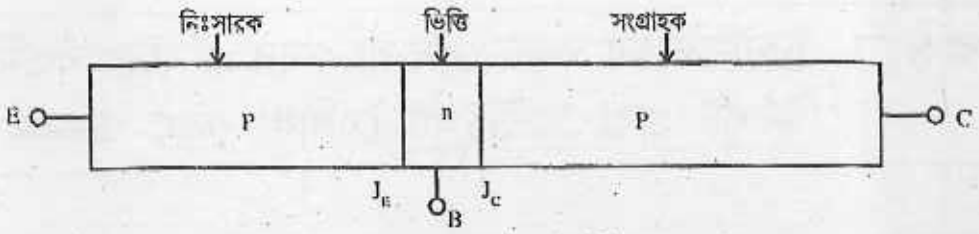
8.7 সারাংশ

8.8 প্রশ্নাবলি

8.1 প্রস্তাবনা

দ্বিমেরু সন্ধি ট্রান্‌জিষ্টর বর্তমান যুগের প্রায় সমস্ত ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতির একটি অতি প্রয়োজনীয় উপাদান। বিশেষতঃ ভোল্টেজ উৎস (voltage source), প্রবাহ উৎস (current source), বিবর্ধক (amplifier) ইত্যাদি মৌলিক ইলেকট্রনিক সংযুক্তি (electronic device)-র নির্মাণ দ্বিমেরু সন্ধি ট্রান্‌জিষ্টার ছাড়া অসম্ভব। তদুপরি কম্‌পিউটারে (computer) ব্যবহৃত বিভিন্ন রকম আই. সি. চিপ (I.C.Chip) নির্মাণে ট্রান্‌জিষ্টার অপরিহার্য।

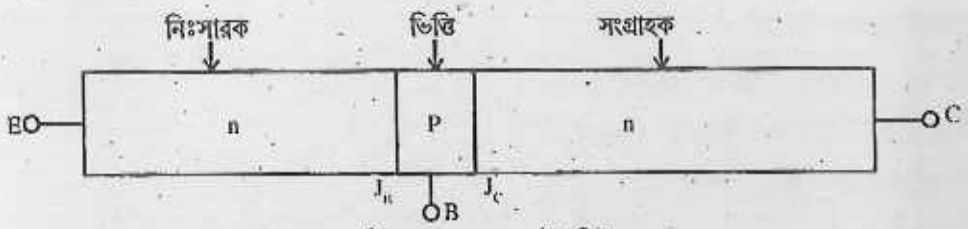
ট্রান্‌জিষ্টরের মৌলিক উপাদান হল সিলিকন (Silicon) অথবা জার্মেনিয়াম (Germenium)। বর্তমানে সিলিকন ট্রান্‌জিষ্টরই সাধারণতঃ সর্বত্র ব্যবহৃত হয়। ট্রান্‌জিষ্টর দুই প্রকারের হতে পারে, p-n-p এবং n-p-n। p-n-p ট্রান্‌জিষ্টর একটি স্বল্পদৈর্ঘ্যের (~25 μm) n-শ্রেণির অর্ধপরিবাহীর স্তর (layer of n-type



চিত্র 8.1.1 : p-n-p ট্রান্‌জিষ্টর

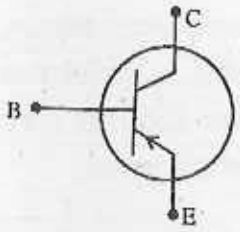
J_E — নিঃসারক ও ভিত্তির জাংশন, J_C — সংগ্রাহক ও ভিত্তির জাংশন

semiconductor) এবং তার দুই পার্শ্ব তুলনায় অনেক দীর্ঘতর দুটি p-শ্রেণির অর্ধপরিবাহীর স্তর (layer of p-type semiconductor) দ্বারা গঠিত হয় (8.1.1 নং চিত্র)। p-n-p ট্রানজিষ্টরের পরিপূরক হল n-p-n ট্রান্‌জিষ্টর (8.1.2 নং চিত্র)। ট্রান্‌জিষ্টরের তিনটি অঞ্চলকে নিঃসারক (Emitter), ভিত্তি (Base) এবং সংগ্রাহক (Collector) বলা হয় (8.1 নং চিত্র)। নিঃসারক অঞ্চলের খাদসংযোজন (doping) সর্বোচ্চ আর ভিত্তি অঞ্চলের খাদসংযোজন সর্বনিম্ন হয়। অন্যদিকে সংগ্রাহক অঞ্চলের খাদসংযোজন এই দুটির অন্তর্বর্তী মানের হয়। সংগ্রাহক অঞ্চল নিঃসারক অঞ্চলের থেকে দীর্ঘতর হয়।

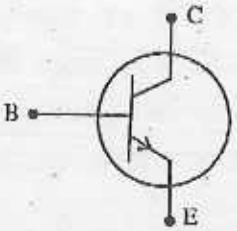


চিত্র 8.1.2 : n-P-n ট্রান্‌জিষ্টর

8.2.1 নং চিত্রে p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের এবং 8.2.2 নং চিত্রে n-p-n ট্রান্‌জিষ্টরের সাংকেতিক চিহ্ন দেখান হয়েছে। চিত্র দুটিতে আপনি যে তীরচিহ্নগুলি দেখছেন তা নিঃসারক ও ভিত্তির জাংশন (Emitter-Base Junction) সম্মুখী বায়াসে (forward bias) থাকলে প্রবাহের দিক নির্দেশ করছে। 8.3 নং চিত্রে একটি p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের সাধারণ বর্তনী বিন্যাস দেখান হয়েছে। লক্ষ্য করুন যে নিঃসারক প্রান্ত ইন্‌পুট্ বর্তনীর (input circuit) সঙ্গে এবং সংগ্রাহক প্রান্ত আউট্‌পুট্ বর্তনীর (output circuit) সঙ্গে যুক্ত। অন্যদিকে ভিত্তি প্রান্ত উভয়ের সঙ্গে যুক্ত। একে ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস (Common Base Configuration or Grounded Base Configuration) বলা হয়। ভিত্তি প্রান্তটি ভূমিলগ্ন (grounded) হওয়ার দরুণ সমস্ত বিভব প্রভেদ (potential difference) ভিত্তির সাপেক্ষে পরিমাপ করা হয়। সুতরাং (8.3) নং চিত্রের নিঃসারক ও ভিত্তির বিভবপ্রভেদ অথবা নিঃসারক ভোল্টেজ V_{EB} ধনাত্মক এবং সংগ্রাহক ও ভিত্তির বিভবপ্রভেদ অথবা সংগ্রাহক ভোল্টেজ V_{CB} ঋণাত্মক। স্পষ্টতঃই এই বর্তনীতে নিঃসারক ভোল্টেজ V_{EB} অনুপ্রবিষ্ট ভোল্টেজ (input voltage) এবং নিঃসারক প্রবাহ (emitter current) I_E অনুপ্রবিষ্ট প্রবাহ



চিত্র 8.2.1 : p-n-p ট্রান্‌জিস্টরের সাংকেতিক চিহ্ন



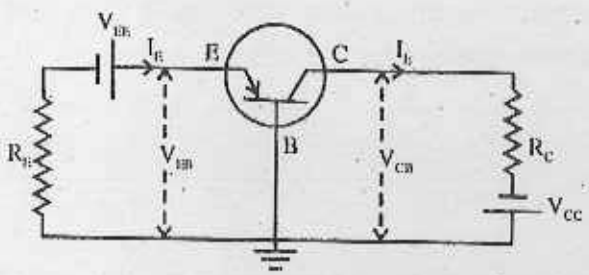
চিত্র 8.2.2 : n-p-n ট্রান্‌জিস্টরের সাংকেতিক চিহ্ন

(input current)। অন্যদিকে সংগ্রাহক ভোল্টেজ V_{CB} হল উৎপন্ন ভোল্টেজ (output voltage) এবং সংগ্রাহক প্রবাহ (collector current) I_C উৎপন্ন প্রবাহ (output current)। ট্রান্‌জিস্টরের উৎপন্ন প্রবাহ I_C সম্পূর্ণভাবে অনুপ্রবিষ্ট প্রবাহ I_E এবং উৎপন্ন ভোল্টেজ V_{CB}-র উপর নির্ভরশীল। অর্থাৎ

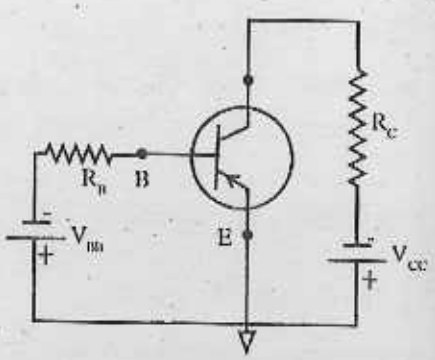
$$I_C = f_1 (V_{CB}, I_E) \qquad .....(8.1)$$

I_E-র বিভিন্ন স্থির মানের জন্য V_{CB}-র সঙ্গে I_C-র পরিবর্তনকে ট্রান্‌জিস্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসের আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা বলা হয় V_{CB} কে স্বতন্ত্র চর রাশি (independent variable) এবং I_C-কে পরতন্ত্র চর রাশি (dependent variable) ধরা হয়। অন্যদিকে অনুপ্রবিষ্ট ভোল্টেজ V_{EB} অনুপ্রবিষ্ট প্রবাহ I_E এবং উৎপন্ন ভোল্টেজ V_{CB}-র উপর সম্পূর্ণরূপে নির্ভরশীল। অর্থাৎ

$$V_{EB} = f_2(I_E, V_{CB}) \qquad .....(8.2)$$



চিত্র 8.3 : p-n-p ট্রান্‌জিস্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস



চিত্র 8.4 : p-n-p ট্রান্‌জিস্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস।

V_{CB}-র বিভিন্ন স্থির মানের জন্য I_E-র সহিত V_{EB}-র পরিবর্তনকে ট্রান্‌জিস্টরের ইনপুট বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা বলা হয় (এখানে I_E স্বতন্ত্র চর রাশি এবং I_{EB} পরতন্ত্র চর রাশি)।

8.4 নং চিত্রে p-n-p ট্র্যানজিস্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস (Common Emitter Configuration) দেখান হয়েছে (যেহেতু এখানে নিঃসারক প্রান্ত ইনপুট্ বর্তনী এবং আউটপুট্ বর্তনী এই দুইয়েরই অংশ)। ট্রান্‌জিস্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসই অধিকাংশ সময় ব্যবহৃত হয়। ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসের মতো

এক্ষেত্রেও উৎপন্ন ভোল্টেজ এবং অনুপ্রবিষ্ট প্রবাহকে স্বতন্ত্র চর রাশি এবং উৎপন্ন প্রবাহ ও অনুপ্রবিষ্ট ভোল্টেজকে পরতন্ত্র চর রাশি হিসাবে ধরা হয়। এক্ষেত্রে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C হল উৎপন্ন প্রবাহ এবং সংগ্রাহক ও নিঃসারকের বিভব প্রভেদ V_{CE} হল উৎপন্ন ভোল্টেজ। অন্যদিকে ভিত্তি প্রবাহ I_B হল অনুপ্রবিষ্ট প্রবাহ এবং ভিত্তি ও নিঃসারকের বিভব প্রভেদ V_{BE} হল অনুপ্রবিষ্ট ভোল্টেজ। সুতরাং

$$I_C = g_1 (V_{CE}, I_B) \quad ...(8.3)$$

$$V_{BE} = g_2 (I_B, V_{CE}) \quad .....(8.4)$$

I_B-র বিভিন্ন স্থির মানের জন্য V_{CE}-র সঙ্গে I_C-র পরিবর্তনকে ট্রান্জিষ্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসের আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা বলা হয়। অন্যদিকে V_{CE}-র বিভিন্ন মানের জন্য I_B-র সঙ্গে V_{BE}-র পরিবর্তনকে ইনপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা বলা হয়। পরবর্তী অনুচ্ছেদগুলিতে আমরা বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নিরূপণের পদ্ধতি সম্পর্কে আলোচনা করব। আপনাকে ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে অথবা নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ নির্ণয় করতে হবে। আমরা উভয় প্রকার বিন্যাসেই মূলতত্ত্ব, পরীক্ষণ প্রণালী ইত্যাদি সম্পর্কে আলোচনা করব।

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে (common base configuration) একটি দ্বিমেরু সন্ধি ট্রান্জিষ্টরের (bipolar junction transistor) ইনপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা (input characteristics) এবং আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা (output characteristic) নির্ণয় করতে পারবেন।
- নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে (common emitter configuration) একটি দ্বিমেরু ট্রান্জিষ্টরের ইনপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা এবং আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্ণয় করতে পারবেন।

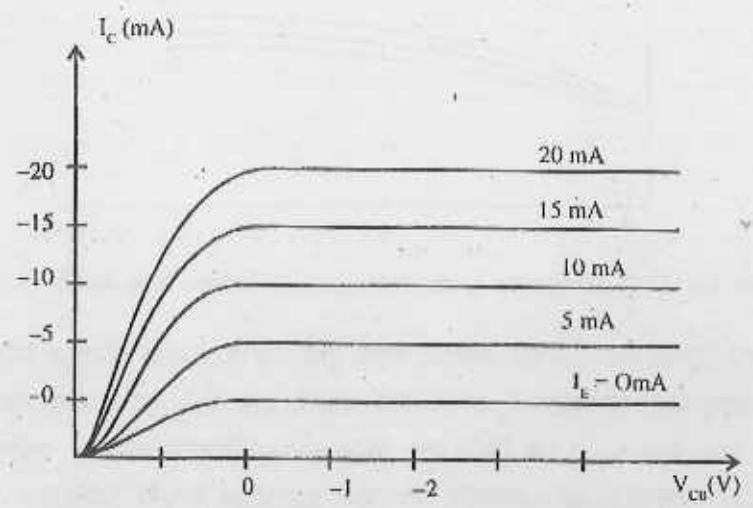
8.2 মূলতত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

8.2.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস

প্রথমে আমরা আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা সম্পর্কে আলোচনা করব। (8.5) নং চিত্রে p-n-p ট্রান্জিষ্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নমুনা প্রদর্শিত হয়েছে। এই বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহকে তিনটি অঞ্চলে ভাগ করা যায়, সক্রিয় অঞ্চল (active region), সম্পৃক্ত অঞ্চল (saturation region), এবং বিচ্ছিন্ন অঞ্চল (cut-off region)। সক্রিয় অঞ্চলে নিঃসারক ও ভিত্তির জাংশন (বা নিঃসারক ডায়োড) সম্মুখী বায়াসে এবং সংগ্রাহক ও ভিত্তির জাংশন (বা সংগ্রাহক ডায়োড) বিপরীত বায়াসে থাকে। বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার যে অংশে উভয়েই সম্মুখী বায়াসে থাকে তাকে সম্পৃক্ত অঞ্চল আর যে অংশে উভয়েই বিপরীত বায়াসে থাকে তাকে বিচ্ছিন্ন অঞ্চল বলা হয়। আমরা এবার এই তিনটি অঞ্চল সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা করব।

সক্রিয় অঞ্চল ঃ এই অঞ্চলে $V_{EB}>0$ এবং $V_{CB}<0$। নিঃসারক ডায়োড সম্মুখী বায়াসে থাকার দরুণ p-n-p ট্রান্জিষ্টরের নিঃসারক থেকে ভিত্তির দিকে তড়িৎপ্রবাহ সংঘটিত হয়। এটাই নিঃসারক প্রবাহ I_E। ভিত্তিতে পুনঃসংযোজন (recombination)-র কারণে প্রবাহের একটি ক্ষুদ্র অংশ ভূমিতে চলে যায়। বাকি অংশ (α) সংগ্রাহকের দিকে যায়। এছাড়াও সংগ্রাহক ডায়োড বিপরীত বায়াসে থাকায় সংগ্রাহক থেকে ভিত্তির দিকে খুবই অল্প পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হয় (I_{CO})। একে বিপরীত সংগ্রাহক সম্পৃক্ত প্রবাহ (reverse saturation current) বলা হয়। সুতরাং মোট সংগ্রাহক প্রবাহ

$$I_C = -\alpha I_E + I_{CO} \qquad .....(8.5)$$



চিত্র 8.5 : আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নমুনা (p-n-p ট্রান্জিষ্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস)

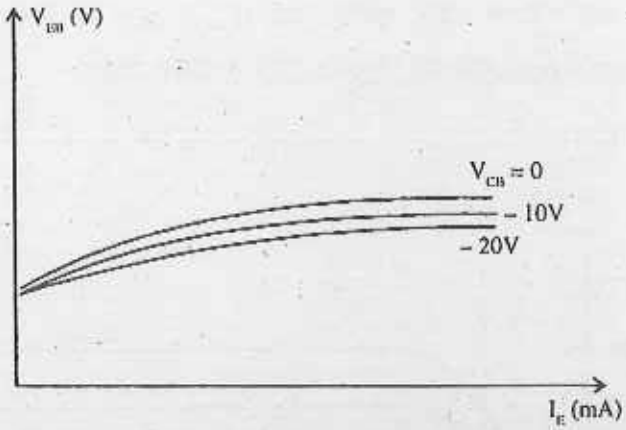
α-কে বৃহৎ সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন (large signal current gain) বলা হয়। (8.5) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে সক্রিয় অঞ্চলে I_C, V_{CB}-র নিরপেক্ষ হয়। বাস্তবে অবশ্য আর্লি প্রভাবের (Early effect) কারণে α-র মান V_{CB}-র সঙ্গে সামান্য বৃদ্ধি পায়। ফলে I_C-র মানও V_{CB}-র সঙ্গে সামান্য বৃদ্ধি পায়। (8.5 নং চিত্রের সক্রিয় অঞ্চল দেখুন)

সম্পৃক্ত অঞ্চল ঃ এই অঞ্চলে সংগ্রাহক ডায়োডও সম্মুখী বায়াসে থাকার দরুণ, সংগ্রাহক প্রবাহ

$$I_C = \alpha I_E + I_{CO}(1 - e^{V_C/V_T}) \qquad .....(8.6)$$

যেখানে $V_C = V_{CB}$ এবং $V_T = \dfrac{T}{11,600}$ যেখানে জাংশনের উষ্ণতা TK। (8.6) নং সমীকরণের দ্বিতীয় পদটি যে কোন সম্মুখী বায়াসযুক্ত অর্ধপরিবাহী ডায়োডের বায়াস ভোল্টেজের সঙ্গে প্রবাহের পরিবর্তন নির্দেশ করছে। (8.6) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে সম্পৃক্ত অঞ্চলে I_C, V_C-র সঙ্গে তীক্ষ্ণভাবে বৃদ্ধি পাবে।

বিচ্ছিন্ন অঞ্চল ঃ এই অঞ্চলে $V_{EB} < 0$ এবং $V_{CB} < 0$। নিঃসারক ডায়োড বিপরীত বায়াসে থাকার দরুণ $I_E = 0$। সুতরাং $I_C = I_{CO}$-র মান জার্মেনিয়াম ট্রান্‌জিস্টরের ক্ষেত্রে মাইক্রোঅ্যাম্‌পিয়ার (μA) ক্রমের (of the order of) এবং সিলিকন ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে ন্যানোঅ্যাম্‌পিয়ার (nA) ক্রমের হয়। সুতরাং বিচ্ছিন্ন অঞ্চলে আউট্‌পুট বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা V_{CB} অক্ষের সঙ্গে প্রায় সমাপতিত (coincident) হবে।



চিত্র 8.6 : ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নমুনা (p-n-p ট্রান্‌জিস্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস)

এবার ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার প্রসঙ্গে আসা যাক। ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কন করতে হলে আপনাকে I_E-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_{EB}-কে y-অক্ষ বরাবর লেখচিত্রায়ন (plot) করতে হবে আর V_{CB}- কে স্থিতিমাপ (parameter) হিসাবে ব্যবহার করতে হবে (8.2 নং সমীকরণ দেখুন)। স্পষ্টতঃই এই রেখাগুলি নিঃসারক ডায়োডের সম্মুখী বৈশিষ্ট্যের রেখা (forward characteristics of the emitter diode) নির্দেশ করছে। লক্ষণীয় যে V_{EB}-র মান একটি ন্যূনতম ভোল্টেজ (বিচ্ছেদক ভোল্টেজ বা cut-in voltage V_γ)-র কম হলে ইন্‌পুট্ প্রবাহ I_E-র মান খুবই কম। অন্যদিকে $V_{EB} > V_\gamma$ হলে, V_{EB}, I_E-র সঙ্গে ক্রমাগত বৃদ্ধি পায়। জাংশন ডায়োডের সাথে এর পার্থক্য হল $|V_{CB}|$-র মান বৃদ্ধির সঙ্গে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাগুলি নিচের দিকে নেমে আসে। এর কারণও আর্লি প্রভাব।

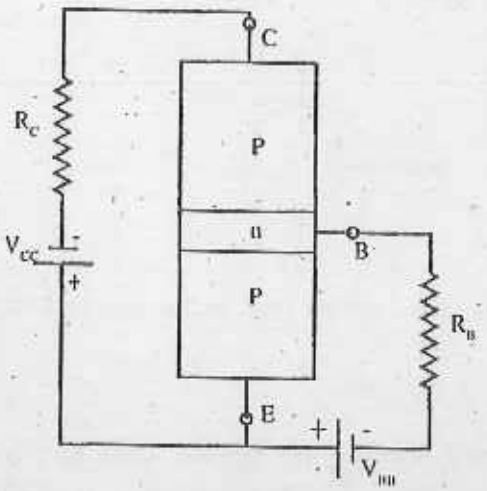
উপরের আলোচনায় ট্রান্‌জিস্টরটিকে একটি p-n-p ট্রান্‌জিস্টর ধরা হয়েছে। কিন্তু এই আলোচনা n-p-n ট্রান্‌জিস্টরের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। শুধু প্রবাহের দিক এবং বায়াস ভোল্টেজের মেরুতা (polarity) p-n-p ট্রান্‌জিস্টরের বিপরীত হবে। সাধারণত কোন তড়িৎপ্রবাহ যদি ট্রান্‌জিস্টরের দিকে সংঘটিত হয়, তাহলে তাকে ধনাত্মক বলে ধরে নেওয়া হয়। সুতরাং p-n-p ট্রান্‌জিস্টরের নিঃসারক প্রবাহ I_E ধনাত্মক, ভিত্তি প্রবাহ I_B এবং সংগ্রাহক প্রবাহ I_C ঋণাত্মক। অন্যদিকে n-p-n ট্রান্‌জিস্টরের I_E ঋণাত্মক, কিন্তু I_B, I_C ধনাত্মক।

8.2.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে ট্রান্‌জিস্টরের আউট্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ হল I_B-র বিভিন্ন স্থির

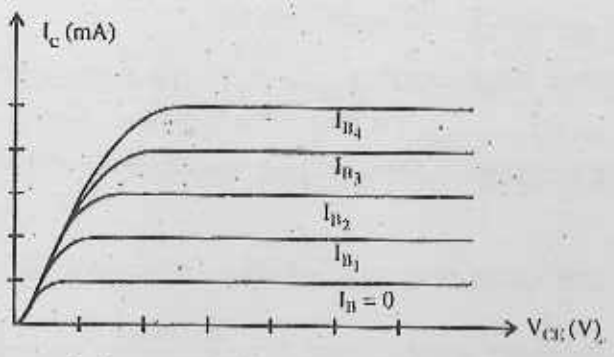
মানের জন্য I_C-V_{CE} লেখচিত্র। বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চল, সম্পৃক্ত অঞ্চল ইত্যাদি সনাক্ত করতে হলে আপনাকে (8.7) নং চিত্রের বর্তনী অনুসরণ করতে হবে।

সম্পৃক্ত অঞ্চল ঃ আমরা জানি যে সম্পৃক্ত অঞ্চলে নিঃসারক ডায়োড এবং সংগ্রাহক ডায়োড উভয়েই সম্মুখী বায়াসে থাকে এবং উভয়ের বায়াস ভোল্টেজের পরিমাণ অন্ততপক্ষে বিচ্ছেদক ভোল্টেজ V_γ-র সমান হয়। সুতরাং p-n-p ট্রান্‌জিস্টরের ক্ষেত্রে (8.7 নং চিত্র), $V_{BE} < 0$, $V_{CB} > 0$ এবং



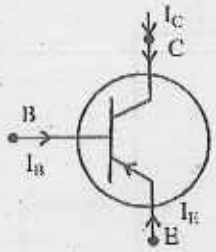
চিত্র 8.7 : p-n-p ট্রানজিস্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসের বর্তনী সংযোগ।

$|V_{BE}| \geq V_\gamma$, $|V_{CB}| \geq V_\gamma$ হয়। সিলিকন ট্রান্‌জিস্টরের ক্ষেত্রে $V_\gamma = 0.6$–0.7 V। $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} = |V_{CB}| + |V_{BE}|$ হওয়ায় (i) $|V_{BE}| \geq 0.6$–0.7 V, (ii) দুটি প্রায় সমমানের রাশির অন্তর হওয়ার দরুণ (উভয়ের মানই 0.6–0.7 V-র মধ্যে) $|V_{CE}|$-র মান খুবই ক্ষুদ্র। সেইজন্য সম্পৃক্ত অঞ্চল I_C-অক্ষ ($V_{CE} = 0$)-র খুব নিকটে অবস্থিত এবং এই অঞ্চলে I_C, V_{CE}-র সাথে তীক্ষ্ণভাবে পরিবর্তিত হয়, কিন্তু মোটামুটিভাবে I_B নিরপেক্ষ থাকে। (8.8) নং চিত্রের $V_{CE} = 0$ থেকে শুরু করে জানুবিন্দু (knee-point) পর্যন্ত সম্পৃক্ত অঞ্চল ধরা যেতে পারে।



চিত্র 8.8 : নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে ট্রান্‌জিস্টরের আউটপুট বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ

সক্রিয় অঞ্চল ঃ সক্রিয় অঞ্চলে (i) $V_{BE} < 0$ এবং $|V_{BE}| \geq 0.6–0.7$ V, (ii) $V_{CE} < 0$, $|V_{CE}| > |V_{BE}|$। সুতরাং বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সম্পৃক্ত অঞ্চলের জানুবিন্দুর ডানপার্শ্বের রৈখিক অংশটিই সক্রিয় অঞ্চল। এই অঞ্চলে I_C প্রধানতঃ I_B-র উপরই নির্ভর করে এবং V_{CE}-র সঙ্গে সামান্য পরিবর্তিত হয়। যদিও এই পরিবর্তনের হার ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসের তুলনায় অনেক বেশি। এর কারণ (8.5) নং সমীকরণে $I_B + I_C + I_C = 0$, (8.9 নং চিত্র দ্রষ্টব্য)। এই সম্পর্কটি প্রতিস্থাপিত করলে I_C এবং I_B-র মধ্যে নিম্নলিখিত সম্পর্ক স্থাপিত হয়।



চিত্র 8.9 : I_B, I_C, I_E-র প্রবাহের দিক। এই দিকে প্রবাহ সংঘটিত হলে, তাকে ধনাত্মক বলে ধরা হয়।

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CO}, \text{ যেখানে } \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad .....(8.7)$$

β-কে ট্রানজিস্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসের বৃহৎ সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন (large signal current gain of a CE-transistor) বলা হয়। α-এর মান 1-র থেকে সামান্য কম হওয়ায় β-র মান 1-র থেকে অনেক বেশি হয়। (8.7) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে V_{CE}-র উপর I_C-র কোন সুস্পষ্ট নির্ভরশীলতা (explicit dependance) নেই কিন্তু যেহেতু α, V_{CE}-র উপর নির্ভরশীল, সেহেতু β ও V_{CE}-র উপর নির্ভর করে। তবে V_{CE}-র সঙ্গে β-র মানের এই পরিবর্তন, α-র মানের পরিবর্তনের তুলনায় অনেক বেশি হয়। উদাহরণস্বরূপ, α-র মান 0.98 থেকে 0.99 হলে, অর্থাৎ 1% বৃদ্ধি পেলে β-র মান $\frac{0.98}{1-0.98} = 49$ থেকে $\frac{0.99}{1-0.99} = 99$. হয়। অর্থাৎ β-র পরিবর্তন 100%রও বেশি। সেইজন্যই নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চলের নতি (slope) ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসের অনুরূপ (corresponding) নতির তুলনায় অনেক বেশি হয়।

বিচ্ছিন্ন অঞ্চল ঃ বিচ্ছিন্ন অঞ্চলে $|V_{BE}| < V_\gamma$ (= 0.6–0.7V)। সুতরাং $I_B = 0$; (8.7) নং সমীকরণ থেকে $I_C = (\beta + 1) I_{CO} = I_{CEO}$ (সংগ্রাহক থেকে নিঃসারকের দিকে প্রবাহ যখন ভিত্তি প্রবাহ $I_B = 0$)। $I_B = 0$-র সংশ্লিষ্ট আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা এবং নীচের অংশটিই হল বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার বিচ্ছিন্ন অঞ্চল।

আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা থেকে নিম্নলিখিত স্থিতিমাপগুলি নির্ণয় করা যায়।

বৃহৎ সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন $\beta = \frac{I_C - I_{CO}}{I_B - (-I_{CO})}$ (8.7 সমীকরণ থেকে)

যেহেতু I_B এবং $I_C >> I_{CO}$; $\beta \simeq \frac{I_C}{I_B}$ । $\frac{I_C}{I_B}$ কে dc beta ও বলা হয়। সুতরাং

$$\beta \simeq \beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \qquad \text{.....(8.8)}$$

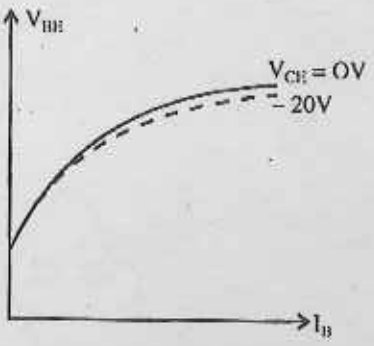
সক্রিয় অঞ্চলে I_C এবং I_B-র অনুপাত থেকে সহজেই β বা β_{dc} নির্ণয় করা যায়।

● $\beta_{ac} \equiv h_{fe} = \left(\frac{\partial I_C}{\partial I_B}\right)_{V_{CE}}$ । β_{ac} বা h_{fe}-কে স্বল্প সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন (small-signal current gain) বা এ. সি. β (ac beta) বলা হয়। h_{fe}-র মান নির্ণয় করতে হলে সক্রিয় অঞ্চলের মাঝামাঝি অংশ V_{CE}-র একটি নির্দিষ্ট মানের সংশ্লিষ্ট একটি স্থিতিশীল বিন্দু (Quiescent Point or Q-point) ঠিক করুন। এবার V_{CE}-কে স্থির রেখে ভিত্তি প্রবাহ I_{B_1} থেকে বর্ধিত করে I_{B_2} করলে যদি সংগ্রাহক প্রবাহ I_{C_1} থেকে পরিবর্তিত হয়ে I_{C_2} হয়, তাহলে

$$h_{fe} \equiv \beta_{ac} = \frac{I_{C_2} - I_{C_1}}{I_{B_2} - I_{B_1}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

● আউটপুট্ প্রবেশ্যতা (Output admittance) $h_{oe} = \left(\frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}}\right)_{I_B}$; স্পষ্টতঃই h_{oe} হল আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নতি। স্থিতিশীল বিন্দু Q-র দুই পার্শ্বে দুটি P_1 এবং P_2-র সংশ্লিষ্ট উৎপন্ন ভোল্টেজ যথাক্রমে V_{C_1} এবং V_{C_2} এবং উৎপন্ন প্রবাহ I_{C_1} এবং I_{C_2} হলে

$$h_{oe} = \frac{I_{C_2} - I_{C_1}}{V_{C_2} - V_{C_1}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}}$$



চিত্র 8.10 : নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাদ্বয়

(8.10) নং চিত্রে নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসের ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ, অর্থাৎ $V_{BE} - I_B$ রেখাচিত্র (V_{CE} স্থিতিমাপ) দেখান হয়েছে। $V_{CE} = 0$ V-র সংশ্লিষ্ট রেখাচিত্রটি হল প্রধানতঃ সম্মুখী বায়াসযুক্ত

নিঃসারক ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা। V_{CE}-র অন্য কোন ঋণাত্মক মানের জন্য রেখাচিত্রের আকৃতি একই রকম হয়, শুধু আর্লি প্রভাবের জন্য ভিত্তি প্রবাহের মান সামান্য কম হয়। ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা থেকে ট্রান্‌জিষ্টরের ইন্‌পুট্‌ প্রতিবাধা (input impedance) h_{ie} নির্ণয় করা যায়।

$$h_{ie} = \left(\frac{\partial V_{BE}}{\partial I_B}\right)_{V_{CE}} \approx \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \qquad \text{.....(8.11)}$$

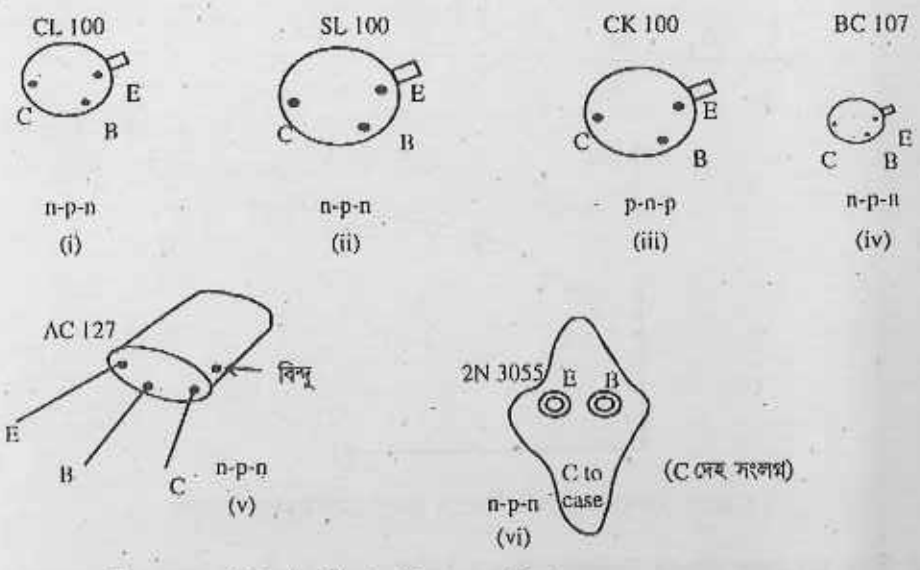
8.3 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি

একটি জাংশন ট্রান্‌জিষ্টর, দুটি ভোল্টেজ উৎস (0–2 V, 0–20 V), দুটি পরিবর্তনশীল রোধ, দুটি ভোল্টমিটার (0–1 V, 0–20 V সীমা), দুটি মাইক্রোঅ্যাম্‌মিটার (Microammeter), একটি মিলিঅ্যাম্‌মিটার, একটি ডিজিটাল/অ্যানালগ মাল্টিমিটার (Digital/Analog multimeter)।

8.4 পরীক্ষণের প্রণালী

ট্রান্‌জিষ্টর নিয়ে যে কোন পরীক্ষণের পূর্বে নিম্নলিখিত তথ্যগুলি সংগ্রহ করে নিন।

- পরীক্ষণীয় ট্রান্‌জিষ্টরটির টাইপ নম্বর (type number) দেখে নিন। এটি ট্রান্‌জিষ্টরের গায়েই লেখা থাকে।
- ম্যানুয়াল থেকে ঐ ট্রান্‌জিষ্টরের বিনির্দেশগুলি, যেমন p-n-p না n-p-n, সংগ্রাহক, প্রবাহের উর্ধ্বসীমা I_{Cmax}, ক্ষমতার সর্বোচ্চ অবক্ষয় (maximum power dissipation) P_{max} ইত্যাদি দেখে নিন। ম্যানুয়াল ঐ জাতীয় ট্রান্‌জিষ্টরের গঠনও দেখানো থাকে।



চিত্র 8.11 : বিভিন্ন ট্রান্‌জিষ্টরের নিম্নাংশের দৃষ্টি (bottom view)। এদের মধ্যে AC-127 টি জার্মেনিয়াম ট্রান্‌জিষ্টর। বাকি সব সিলিকন ট্রান্‌জিষ্টর।

● এবার ট্রান্‌জিস্টরটির নিঃসারক (E), ভিত্তি (B) এবং সংগ্রাহক (C)-কে শনাক্ত করুন। বিভিন্ন নির্মাতা E, B, C-কে সুচিত করার জন্য বিভিন্ন রকম রীতিনীতি অনুসরণ করে থাকেন। উদাহরণস্বরূপ SL-100, CL-100, BC-107 ইত্যাদি ট্রান্‌জিস্টরের নীচের দিকটা বৃত্তাকার এবং তাদের একটি অংশ বাইরের দিকে অভিক্ষিপ্ত থাকে। অভিক্ষেপের নিকটতম প্রান্তটি E, দূরতম প্রান্তটি C এবং মাঝের প্রান্তটি B (8.11 নং চিত্র দেখুন)। E, B-র মধ্যবর্তী দূরত্ব, B, C-র মধ্যবর্তী দূরত্বের তুলনায় কিছুটা কম হয় যদিও BC-107-র মতো স্বল্প আয়তনের ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে এই তফাৎ বোঝা খুব মুস্কিল। AC-127 ট্রানজিস্টরের সংগ্রাহকের কাছে একটি রঙীন বিন্দু চিহ্ন (coloured dot) দেওয়া থাকে। বিন্দুচিহ্নের দূরবর্তী প্রান্তটি নিঃসারক এবং মাঝের প্রান্তটি ভিত্তি। 2N3055-র মতো উচ্চ ক্ষমতাসম্পন্ন ট্রান্‌জিস্টরের (power transistor) গঠন 8.11 (i) চিত্রের অনুরূপ হয়। এর সংগ্রাহক প্রান্ত দেহসংলগ্ন (body) হয়ে থাকে। এখানে উল্লেখ্য যে ট্রান্‌জিস্টরের নামগুলি সাধারণতঃ ট্রান্‌জিস্টর নির্মাণে ব্যবহৃত মৌলিক উপাদানগুলি নির্দেশ করে। যেমন, AC-127 ট্রান্‌জিস্টরের A অর্থে জার্মেনিয়াম এবং C অর্থে শ্রাব্য কম্পাঙ্ক (audio frequency বা AF) বোঝায়। সুতরাং AC-127 হল জার্মেনিয়াম ট্রান্‌জিস্টর যা শ্রাব্য কম্পাঙ্কে ব্যবহৃত হয়। BC-107 (B অর্থে সিলিকন) হল শ্রাব্য কম্পাঙ্কে ব্যবহৃত সিলিকন ট্রান্‌জিস্টর। সংখ্যাগুলি ট্রান্‌জিস্টর পরিকল্পনা (design)-র অনুক্রমিক সংখ্যা (serial number) নির্দেশ করে।

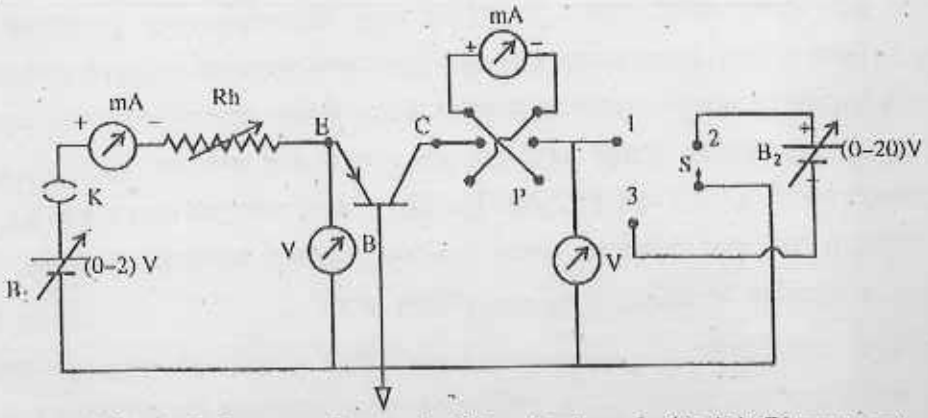
● ডিজিটাল মাল্টিমিটারের (Digital multimeter) সাহায্যেও E, B, C-কে শনাক্ত করা যায়। অধুনা ব্যবহৃত মাল্টিমিটারগুলিতে সরাসরি β_{dc} (h_{fe}) পরিমাপের ব্যবস্থা থাকে। এই ধরনের মিটারে E, B, C এবং E লেখা চারটি গর্ত থাকে। ট্রানজিস্টরের প্রান্ততিনটিকে মাল্টিমিটারের E, B, C-র সঙ্গে যথাযথভবে সংযুক্ত করলে ম্যানুয়ালে বর্ণিত h_{fe}-র মানের সীমা (range)-র মধ্যে একটি মান পাওয়া যাবে। অন্যথায় h_{fe}-র সঠিক মান পাওয়া যাবে না। এই পদ্ধতিতে E, B, C-র শনাক্তকরণ ছাড়াও ট্রান্‌জিস্টরটির পরীক্ষাও হয়ে যায়। সেটা p-n-p না n-p-n তাও জানা যায়।

● উপরোক্ত পরীক্ষাগুলি করার পর আপনি আপনার পরীক্ষণ শুরু করতে পারেন। প্রথমে ট্রান্‌জিস্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নিরুপণের পদ্ধতি সম্পর্কে আলোচনা করা হবে। পরে নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসের ক্ষেত্রে অনুরূপ আলোচনা করা হবে।

8.4.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস

ট্রানজিস্টরটি ব্রেড বোর্ড (bread borard)-এ সংস্থাপিত করুন। লক্ষ্য রাখবেন ট্রান্‌জিস্টরের প্রান্তগুলি যেন কখনই লঘুপথিত (short circuited) না হয়। p-n-p ট্রান্‌জিস্টরের ক্ষেত্রে (8.12) নং চিত্রের মতো বর্তনী সংযোগ করুন। n-p-n ট্রান্‌জিস্টরের ক্ষেত্রে বর্তনী সংযোগ একই রকম হবে কিন্তু ভোল্টেজ উৎস, মিলিঅ্যাম্‌মিটার এবং ভোল্টামিটারগুলির মেরুতা (8.12) নং চিত্রের বিপরীত হবে। (8.12) নং চিত্রের নিঃসারক বর্তনীতে নিঃসারক প্রান্ত ভিত্তির সাপেক্ষে উচ্চতর বিভবে আছে। রিওস্ট্যাট্ Rh-র সাহায্যে নিঃসারক প্রবাহ I_E-কে নিয়ন্ত্রণ করা যায়। সংগ্রাহক বর্তনীর কম্যুটেটরের সাহায্যে সংগ্রাহক প্রান্তকে ভিত্তির সাপেক্ষে পর্যায়ক্রমে উচ্চতর বিভবে এবং নিম্নতর বিভবে রাখা যায়। যেমন কম্যুটেটরের (1, 2) এবং

(3,4)-কে যুক্ত করলে সংগ্রাহক প্রান্ত ভিত্তির সাপেক্ষে উচ্চতর বিভব এবং (1,3) ও (2,4)-কে যুক্ত করলে সংগ্রাহক প্রান্ত ভিত্তির সাপেক্ষে নিম্নতর বিভব প্রাপ্ত হয়। সুতরাং কম্যুটেটরের সাহায্যে ট্রান্‌জিষ্টরের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চল এবং সম্পৃক্ত অঞ্চল, উভয়েরই অনুসন্ধান করা যায়। সংগ্রাহক বর্তনীর মিলিঅ্যাম্‌মিটারটিকে একটি পোল্ কম্যুটেটরের মাধ্যমে সংযুক্ত করা হয়েছে। এর কারণ সম্পৃক্ত অঞ্চলে সংগ্রাহক ভোল্টেজের মান একটি নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম করলে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C-র দিক্ পরিবর্তন হতে পারে। তখন পোল্ কম্যুটেটরের আন্দোলক (rocker) টিকে উল্টিয়ে দিয়ে (reverse) পাঠ নিলে মিলিঅ্যাম্‌মিটার মেরুতা পরিবর্তন করার দরকার হয় না।



চিত্র 8.12 : ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে একটি p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের ইনপুট্ এবং আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কনের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী বিন্যাস।

B_1, B_2 পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎস (variable voltage source), K চাবি (key)

mA মিলিঅ্যাম্‌মিটার (milliammeter), V ভোল্টমিটার (voltmeter)

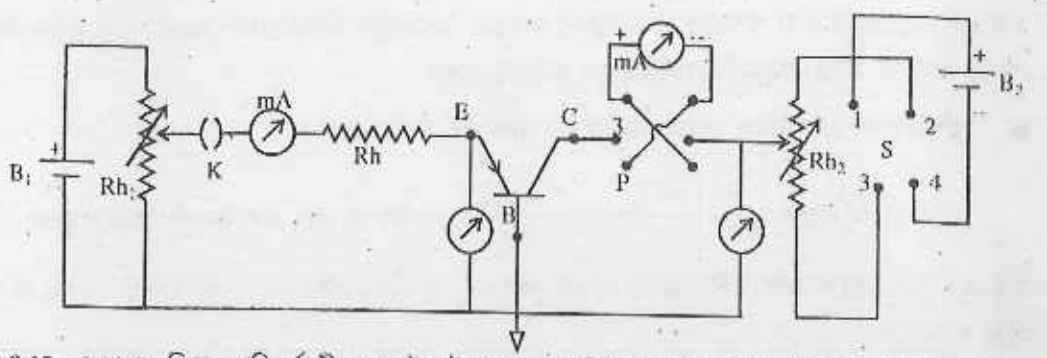
S কম্যুটেটর (commutator), P পোল্ কম্যুটেটর (phol commutator)

R_h রিওষ্ট্যাট্ (rheostat)

ল্যাবরেটরিতে যদি পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎস না থাকে তাহলে একটি ধ্রুবমানের ভোল্টেজ উৎস নিয়ে একটি রিওষ্ট্যাটের সাহায্যে তাকে পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসে রূপান্তরিত করা যায়। সেক্ষেত্রে রিওষ্ট্যাটের বিসর্পিত বিন্দু (sliding point) এবং ভোল্টেজ উৎসের ঋণাত্মক (negative) প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত রিওষ্ট্যাটের অপর প্রান্তের মধ্যে বিভব পার্থক্যই হল ট্রান্‌জিষ্টরের বায়াস ভোল্টেজ (8.13 নং চিত্র দেখুন)।

ইনপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা :

প্রথমে সংগ্রাহক ভোল্টেজ V_{CB}-কে 0 volt-এ স্থির রাখুন। নিঃসারক প্রবাহ I_E-র উর্ধ্বসীমা অর্থাৎ আপনি I_E-র সর্বোচ্চ কত মান পর্যন্ত পাঠ নেবেন তা স্থির করুন। ম্যানুয়ালে I_c-র উর্ধ্বসীমা $I_{C(max)}$ উল্লেখ করা থাকে যেহেতু $I_E = I_c$, I_E-র সর্বোচ্চ মান $I_{C(max)}$ অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর কোন মানে স্থির করুন। এবার রিওষ্ট্যাট্ R_h-র মান এরূপে সমন্বয়িত (adjust) করুন যাতে নিঃসারক ভোল্টেজ V_{EB}-র সর্বোচ্চ মানের



চিত্র 8.13: 8.12 নং চিত্রের পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসের স্থলে স্থির মানের ভোল্টেজ উৎস ব্যবহার করা হয়েছে এবং Rh_1 ও Rh_2 এই দুটি রিওস্ট্যাট ব্যবহার করে সেগুলি পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসে রূপান্তরিত করা হয়েছে।

জন্য I_E সর্বোচ্চ মান প্রাপ্ত হয়। রিওস্ট্যাট্‌টিকে এই মানে স্থির রেখে দিন। এবার V_{EB}-র মান শূন্য থেকে ধীরে ধীরে বৃদ্ধি করুন এবং অনুযঙ্গী (corresponding) I_E-র পাঠ নিন। প্রথম দিকে, অর্থাৎ $V_{EB} < V_\gamma$ (~0.5 – 0.6 V) হলে, V_{EB}-কে 0.1 V করে বর্ধিত করুন। কিন্তু $V_{EB} > V_\gamma$ হলে এই বৃদ্ধি অনেক কম পরিমাণে করতে হবে। V_{EB} পরিমাপের জন্য ডিজিটাল মাল্টিমিটার ব্যবহার করা উচিত। এবার V_{CB}-কে –1V, –10V, –20V ইত্যাদি মানে স্থির রেখে পুনরায় V_{EB}-র সঙ্গে I_E-র পরিবর্তন লিপিবদ্ধ করুন। V_{CB}-র বিভিন্ন মানের জন্য, I_E-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_{EB}-কে y-অক্ষ বরাবর চিহ্নিত (plotting) করে ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কন করুন।

● আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ঃ

প্রথমে I_E-কে তার সর্বোচ্চ মানে স্থির রাখুন। V_{CB}-র সর্বাধিক মান ম্যানুয়াল থেকে দেখে নিন। সেই অনুযায়ী V_{CB}-কে তার সর্বোচ্চ মানে নিয়ে যান এবং অনুযঙ্গী সংগ্রাহক প্রবাহ I_C-র পাঠ নিন। এবার I_E-র মান স্থির রেখে V_{CB}-র মান 1 V করে হ্রাস করুন এবং I_C-র পাঠ নিন। এভাবে 0 V পর্যন্ত পাঠ নিন।

এবার কম্যুটেটর S-কে বিপরীতে সংযুক্ত করুন এবং সংগ্রাহক বর্তনীর ভোল্টমিটারের মেরু পরিবর্তন করে সংযুক্ত করুন। লক্ষ্য করুন V_{CB} ঠিক 0 V-এ আছে কিনা। V_{CB}-র মান 0.05 V করে বর্ধিত করুন এবং I_C-র পাঠ নিন। একসময় $I_C = 0$ হয়ে যাবে। V_{CB}-র মান আরও বাড়ালে I_C-র দিক্‌ (direction) পরিবর্তন হবে। তখন পোল্‌ কম্যুটেটরের আন্দোলকটিকে উল্টিয়ে দিয়ে মিলিঅ্যাম্‌মিটারের পাঠ নিতে হবে।

একই রকমভাবে I_E-র অন্যান্য মানে নিঃসারক প্রবাহ স্থির রেখে V_{CB}-র সঙ্গে I_C-র পরিবর্তনের উপাত্ত (data) সংগ্রহ করুন। I_E-র বিভিন্ন স্থির মানের জন্য V_{CB}-কে x-অক্ষ বরাবর এবং I_C-কে y-অক্ষ বরাবর চিহ্নিতকরণ করে আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ অঙ্কন করুন। V_{CB} এবং I_C-র মান চিহ্নিতকরণ করার সময় 8.2.1 নং অনুচ্ছেদের চিহ্ন সম্বন্ধীয় রীতি (sign convention) অনুসরণ করুন। p-n-p ট্রান্‌জিস্টরের ক্ষেত্রে x-অক্ষ এবং y-অক্ষ উভয়ের ধনাত্মক দিক্‌ (positive direction) বরাবর

ঋণাত্মক উপাত্তগুলি এবং ঋণাত্মক দিক্ বরাবর ধনাত্মক উপাত্তগুলি চিহ্নিতকরণ করুন। n-p-n ট্রান্‌জিষ্টরের ক্ষেত্রে প্রচলিত রীতি অনুযায়ী লেখচিত্রায়ন করলেই চলবে।

- বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ থেকে নিম্নলিখিত রাশিগুলি নির্ণয় করুন।

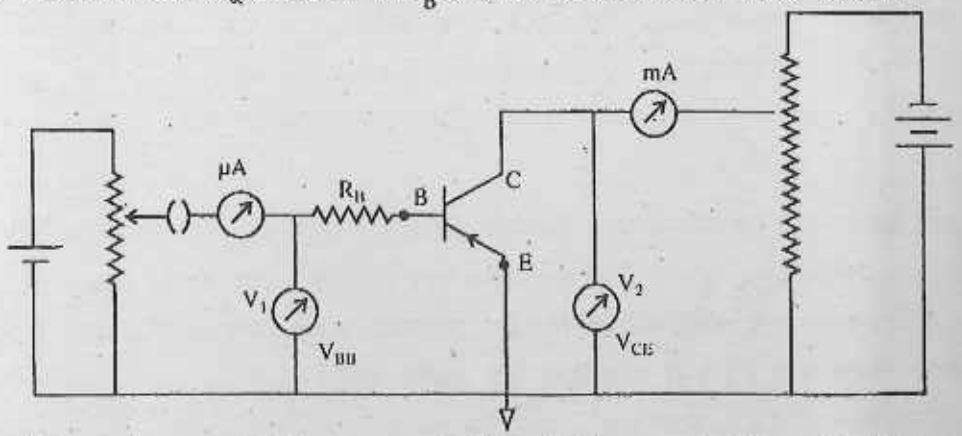
1. ইন্‌পুট্ প্রতিবাধা $h_{ib} = \left(\frac{\partial V_{EB}}{\partial I_E}\right)_{V_{CB}} \approx \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E}$। স্পষ্টতঃই এটা হল ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নতি (slope)। প্রত্যেকটি বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার ক্ষেত্রে I_E-র স্বল্প মানের জন্য এবং অধিক মানের জন্য এই নতি বার করুন।

2. স্বল্প সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন $h_{fb} = \left(\frac{\partial I_C}{\partial I_E}\right)_{V_{CB}} \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$। আউট্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চলের মাঝামাঝি জায়গায় একটি স্থিতিশীল বিন্দু নির্বাচন করুন। এবার V_{CB}-র মান স্থির রেখে দুটি বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সংশ্লিষ্ট I_E এবং I_C-র মানের অন্তর (difference) থেকে h_{fb} নির্ণয় করুন।

3. আউট্‌পুট্ প্রবেশ্যতা $h_{ob} = \left(\frac{\partial I_C}{\partial V_{CB}}\right)_{I_E} \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CB}}$। এই রাশিটি আউট্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নতি। প্রত্যেকটি বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চলের নতি বার করুন।

8.4.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

(8.14) নং চিত্রে নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে একটি p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্ণয়ের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী বিন্যাস দেখান হয়েছে। এখানে V_{BB} এবং V_{cc} দুটি পরিবর্তনশীল শক্তি উৎস। মাইক্রোঅ্যাম্‌মিটার (μA)-র সাহায্যে ভিত্তি প্রবাহ I_B এবং মিলিঅ্যাম্‌মিটার (mA)-র সাহায্যে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C-র পরিমাপ করা হয়। ভিত্তি ও সংগ্রাহকের বিভব প্রভেদ V_{BE} ভোল্টমিটার V_1-র সাহায্যে এবং সংগ্রাহক ও ভিত্তির বিভবপ্রভেদ V_{CE}-কে ভোল্টমিটার V_2-র সাহায্যে পরিমাপ করা হয়। রোধবাক্সে যথাযথ পরিমাণের রোধ সংযুক্ত করে আপনি I_B-র মানকে ইচ্ছামত নিয়ন্ত্রণ করতে পারেন।



চিত্র 8.14 : নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্ণয়ের বর্তনী বিন্যাস।

ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ঃ

প্রথমে V_{CE}-কে 0V-এ স্থির করুন। I_B-র উর্ধ্বসীমা $(I_B)_{max}$ ঠিক করুন। ম্যানুয়ালে $(I_C)_{max}$-র মান দেওয়া থাকে। মাল্টিমিটারের সাহায্যে β_{dc}-র আসন্ন মান নির্ণয় করুন। I_B-র উর্ধ্বসীমা $\frac{(I_C)_{max}}{\beta_{dc}}$ অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর কোন মানে স্থির করুন। এবার R_B-র মান এরূপে সমন্বয়িত করুন যাতে V_{BB}-র সর্বাধিক মান $(V_{BB})_{max}$-র জন্য $1 = (I_B) = (I_B)_{max}$ হয়। আপনারা জানেন যে ভিত্তি ও নিঃসারকের জাংশন সম্মুখী বায়াসপ্রাপ্ত হলে তাদের বিভব পার্থক্য $= (0.6-0.7)$ V এই মানে স্থির থাকে। সুতরাং $R_B \approx \frac{(V_{BB})_{max} - 0.6}{(I_B)_{max}}$ এই মানে R_B-কে সমন্বয়িত করুন। পরীক্ষণ চলাকালীন R_B-কে এই মানেই স্থির রাখুন। এবার V_{BB}-মান 0 থেকে ধাপে ধাপে বৃদ্ধি করুন এবং V_{BE} ও I_B-র পাঠ নিন। প্রত্যেকটি পাঠ নেওয়ার সময় লক্ষ্য রাখুন V_{CE} যেন পরিবর্তিত না হয়। $V_{BE} \leq 0.6-0.7$ হলে I_B-র মান শূন্যের কাছাকাছি থাকে। সুতরাং এই অঞ্চলে V_{BB}-কে 0.1V করে বৃদ্ধি করলেই চলবে ($I_B \approx 0$ হওয়ায় এই অঞ্চলে $V_{BB} \approx V_{BE}$)। কিন্তু $V_{BE} \geq 0.6$-0.7 হলে I_B, V_{BE}-র সঙ্গে প্রথমে ধীরে ধীরে এবং পরে তীক্ষ্ণভাবে বৃদ্ধি পায়। সেইজন্য এই অঞ্চলে উপাত্তগুলি খুব ঘনসন্নিবিষ্ট হওয়া প্রয়োজন। এইভাবে $I_B = (I_B)_{max}$ পর্যন্ত উপাত্ত সংগ্রহ করুন। V_{CE}-কে -10V, -20V ইত্যাদি মানে স্থির রেখে একই ভাবে $V_{BE}-I_B$-র উপাত্ত সংগ্রহ করুন। লক্ষ্য রাখুন যেন I_C-র মান $(I_C)_{max}$ অপেক্ষা কম থাকে। V_{CE}-কে স্থিতিমাপ হিসাবে ব্যবহার করে I_B-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_{BE}-কে y-অক্ষ বরাবর চিহ্নিতকরণ করে ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ অঙ্কন করুন।

আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ঃ

- ভিত্তি বর্তনী (base circuit)-র রোধ R_B-কে প্রয়োজন মত পরিবর্তন করে ভিত্তিপ্রবাহ I_B-কে একটি নির্দিষ্ট মানে (ধরা যাক) (10μA) স্থির রাখুন। V_{CC}-কে 0V থেকে ধাপে ধাপে বর্ধিত করুন এবং V_{CE} ও I_C-র পাঠ নিন। আপনারা জানেন যে V_{CE}-র স্বল্প মানের জন্য অর্থাৎ সম্পৃক্ত অঞ্চলে I_C, V_{CE}-র সঙ্গে তীক্ষ্ণভাবে বৃদ্ধি পায়। সেইজন্য V_{CE}-কে প্রথমে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ধাপে বর্ধিত করুন এবং ভোল্টমিটারের যথাসম্ভব সূক্ষ্মতম স্কেল (scale) ব্যবহার করে পাঠ নিন। সম্পৃক্ত অঞ্চল অতিক্রম করার পর, অর্থাৎ সক্রিয় অঞ্চলে I_C, V_{CE}-র সাথে সামান্যই পরিবর্তিত হয়। সুতরাং সক্রিয় অঞ্চলে V_{CE}-কে 1V করে বর্ধিত করুন এবং ভোল্টমিটারের 0-10 V অথবা 0-20V স্কেল ব্যবহার করে পাঠ নিন। লক্ষ রাখুন,

  1. I_B যেন ধ্রুবমানে থাকে। যদি I_B পরিবর্তিত হয়, তবে R_B-কে পুনরায় পরিবর্তিত করে I_B-কে ধ্রুবমান রাখুন।

  2. I_c-র মান যেন $(I_c)_{max}$ অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হয়।

- I_B-র অন্যান্য স্থির মানের জন্য (20μA, 30μA ইত্যাদি) একইভাবে $V_{CE}-I_C$ উপাত্ত সংগ্রহ করুন। শেষে $I_B = 0$-র জন্যও V_{CE} এবং I_c-র পাঠ নিন।

- I_B-র বিভিন্ন স্থির মানের জন্য V_{CE}-কে x-অক্ষ বরাবর এবং I_C-কে y-অক্ষ বরাবর অঙ্কন করে লেখচিত্রায়িত করুন।

ট্রান্জিষ্টরের স্থিতিমাপসমূহের নির্ণয় ঃ

ট্রান্জিষ্টরের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাগুলি থেকে নিম্নলিখিত স্থিতিমাপগুলি নির্ণয় করুন, ইনপুট্ প্রতিবাধা h_{ie}, স্বল্প-সকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন h_{fe} এবং আউটপুট্ প্রবেশ্যতা h_{oe} (8.22 নং অনুচ্ছেদ দেখুন)।

1. ইনপুট প্রতিবাধা $h_{ie} = \left(\frac{\partial V_{BE}}{\partial I_B}\right)_{V_{CE}} \simeq \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}\Big|_{V_{CE}}$ । ইনপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার ক্ষেত্রে I_B-র স্বল্প মানের জন্য এবং অধিক মানের জন্য h_{ie} নির্ণয় করুন।

2. $h_{fe} \simeq \frac{\Delta I_c}{\Delta I_B}\Big|_{V_{CE}}$ । আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চলের মাঝামাঝি জায়গায় একটি স্থিতিশীল বিন্দু নির্বাচন করুন। এবার V_{CE}-র মান স্থির দুটি বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সংশ্লিষ্ট I_B এবং I_C-র মানের অন্তর থেকে h_{fe} নির্ণয় করুন।

3. $h_{oe} \simeq \frac{\Delta I_c}{\Delta V_{CE}}\Big|_{I_B}$ । আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চলের দুই তিনটি বিভিন্ন স্থানে এর নতি বার করুন। এই নতিই হল h_{oe}।

যদি পরীক্ষাগারে (8.14) নং চিত্রের ন্যায় পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎস না থাকে তাহলে একটি স্থির ভোল্টেজের উৎস নিয়ে রিওষ্ট্যাটের সাহায্যে তাকে পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসে রূপান্তরিত করে পরীক্ষণ সম্পূর্ণ করুন। (8.4.1 নং অনুচ্ছেদের শেষাংশ দেখুন)।

8.5 পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত

- ব্যবহৃত ট্রান্জিষ্টর এবং মিটারগুলির বিনির্দেশসমূহ ঃ

  ট্রান্জিষ্টরের নাম এবং জাতিরূপ .....

  সংগ্রাহক প্রবাহের উর্ধ্বসীমা $(I_c)_{max}$ = ...

  সর্বাধিক ক্ষমতার অবক্ষয় P_{max} = ...

সারণি 8.1

ব্যবহার্য মিটারসমূহ	সীমা	সর্বনিম্ন বিভাজন	শূন্যাংক ত্রুটি

8.5.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস

- ইনপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার উপাত্ত ঃ

সারণি 8.2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	V_{CB} = ...V		V_{CB} = ...V		.....
	I_B(mA)	V_{EB}(V)	I_E(mA)	V_{EB}(V)	.....

- আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার উপাত্ত ঃ

সারণি 8.3

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	I_E = ...mA		I_E = ...mA		.....
	$V_{CB}(V)$	$I_C(mA)$	$V_{CB}(V)$	$I_C(mA)$	.....

- ট্রান্জিষ্টরের স্থিতিমাপগুলির গণনা ঃ

সারণি 8.4 (i)

$V_{CB}(V)$	$\Delta I_E(mA)$	$\Delta V_{EB}(V)$	$h_{ib} = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E}\Big\|_{V_{CB}} (\Omega)$

সারণি 8.4 (ii)

স্থিতিশীল বিন্দু Q V_{CB} = ... I_E = ... I_C = ...	$I_{E1}(mA)$	$I_{E2}(mA)$	$I_{C1}(mA)$	$I_{C2}(mA)$	$PS(V)$	$RS(mA)$	$h_{fb}=\frac{I_{C_2}-I_{C_1}}{I_{E_2}-I_{E_1}}$	$h_{ob}=\frac{RS}{PS}$(mho)

8.5.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

- ইনপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার উপাত্ত ঃ

সারণি 8.5

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	V_{CE} = ...V		V_{CE} = ...V		.....
	$I_B(\mu A)$	$V_{BE}(V)$	$I_B(\mu A)$	$V_{BE}(V)$	.....

● আউটপুট বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার উপাত্ত ঃ

সারণি 8.6

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	I_B = ...μA		I_E = ...μA		.....
	V_{CE}(V)	I_C(mA)	V_{CE}(V)	C_C(mA)	.....

● ট্রানজিষ্টরের স্থিতিমাপগুলির গণনা ঃ

সারণি 8.7 (i)

$V_{CE}(V)$	$\Delta I_B(\mu A)$	$\Delta V_{BE}(V)$	$h_{ie} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}\Big\|_{V_{CE}}$

সারণি 8.7 (ii)

স্থিতিশীল বিন্দু Q	$I_{B1}(\mu A)$	$I_{B2}(\mu A)$	$I_{C1}(MA)$	$I_{C2}(MA)$	$P'S'(V)$	$R'S'(mA)$	$h_{fe} = \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{B2} - I_{B1}}$	$h_{oe} = \frac{R'S'}{P'S'}$(mho)
V_{CE} = ... I_B = ... I_C = ...								

8.6 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা

ট্রান্‌জিষ্টর সংক্রান্ত যে কোন পরীক্ষণের সময় নিম্নলিখিত সতর্কতাগুলি অবলম্বন করা জরুরি।

- ট্রান্‌জিষ্টরের সংযোগপ্রান্তগুলি (leads) ভঙ্গুর। সেইজন্য ট্রান্‌জিষ্টরকে সাবধানে বর্তনীতে স্থাপন করুন।
- ট্রান্‌জিষ্টরের উষ্ণতার অত্যধিক বৃদ্ধি হলে তা নষ্ট হয়ে যেতে পারে। সেইজন্য I_C, V_{CE} ইত্যাদির মান সর্বোচ্চ সীমার মধ্যে রাখুন যাতে ট্রান্‌জিষ্টরটি অত্যধিক উত্তপ্ত না হয়। এদের মান সর্বোচ্চ সীমার অর্ধেক হল নিরাপদ মান।
- ট্রান্‌জিষ্টরের সংযোগপ্রান্তগুলি ঝালাই (solder) করা প্রয়োজন হলে তা অত্যন্ত দ্রুততার সঙ্গে করা প্রয়োজন যাতে ঝালক লৌহদণ্ডের (soldering iron) সঙ্গে এদের সংযোগ দীর্ঘস্থায়ী না হয়।
- বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ চালু করার পূর্বে দেখে নিন, নিঃসারক, সংগ্রাহক ইত্যাদি প্রান্তগুলি ভোল্টেজ উৎসের সঠিক মেরুগুলির সঙ্গে যুক্ত আছে কিনা।
- ট্রান্‌জিষ্টরের সংযোগপ্রান্তগুলির মধ্যে দূরত্ব অল্প হওয়ায় তাদের মধ্যে শর্ট সার্কিট (short circuit) হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। সেই অনুযায়ী আপনাকে সাবধনতা অবলম্বন করতে হবে।
- বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ চলাকালীন ট্রান্‌জিষ্টরটিকে বর্তনীকে বসাবেন না। তাহলে মাত্রাতিরিক্ত ক্ষণিক তড়িৎ প্রবাহ (transient current) সৃষ্টি হয়ে ট্রান্‌জিষ্টরটি নষ্ট হয়ে যেতে পারে।

8.7 সারাংশ

এই এককে আমরা দ্বিমেরু সন্ধি ট্রান্‌জিষ্টরের কার্যপদ্ধতি সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা করা হল। ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে ট্রান্‌জিষ্টরের ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ($V_{EB} - I_E$ লেখচিত্র) এবং আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ($V_{CB} - I_C$ লেখচিত্র) কিরূপে নির্ণয় করা যায় তা বিস্তারিতভাবে আলোচনা করা হয়েছে। নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে ট্রান্‌জিষ্টরের ইন্‌পুট্‌ বৈশষ্ট্যমূলক রেখা ($V_{BE} - I_B$ লেখচিত্র) এবং আউটপুট বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ($I_C - V_{CE}$ লেখচিত্র) নির্ণয় করার পদ্ধতি সম্পর্কেও বিস্তারিতভাবে আলোচনা করা হয়েছে।

8.8 প্রশ্নাবলি

- ট্রান্‌জিষ্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস এবং নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস বলতে কী বোঝায় ?

  উত্তর ঃ 8.1 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- দ্বিমেরু সন্ধি ট্রান্‌জিষ্টরের সক্রিয় অঞ্চল, সম্পৃক্ত অঞ্চল এবং বিচ্ছিন্ন অঞ্চল ব্যাখ্যা করুন।

  উত্তর ঃ 8.2 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- একটি p-n-p অথবা n-p-n ট্রান্‌জিষ্টর নিন। এর নিঃসারক, ভিত্তি এবং সংগ্রাহক প্রান্তগুলি একটি মাল্টিমিটারের সাহায্যে রোধ মেপে সনাক্ত করুন।

  উত্তর ঃ নিঃসারক এবং সংগ্রাহক প্রান্তের মধ্যে রোধ খুব উচ্চ মানের হয় (~MΩ)। মাল্টিমিটারের যে কোন প্রান্তের সঙ্গে নিঃসারক এবং অপর প্রান্তের সঙ্গে সংগ্রাহক যুক্ত করলেই এই ফল পাওয়া যাবে। অন্যদিকে নিঃসারক প্রান্তের সঙ্গে মাল্টিমিটারের পজিটিভ প্রান্ত এবং ভিত্তির সঙ্গে মাল্টিমিটারের কমন প্রান্ত যুক্ত করলে p-n-p ট্রান্‌জিষ্টারের ক্ষেত্রে রোধের মান খুব অল্প হবে, n-p-n-র ক্ষেত্রে খুব উচ্চ হবে। মাল্টিমিটারের প্রান্তদ্বয় বিনিময় করলে p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের ক্ষেত্রে রোধ উচ্চ মানের হবে, n-p-n-র ক্ষেত্রে নিম্নমানের হবে। মাল্টিমিটারের ডায়োড পরীক্ষক সুইচ ব্যবহার করেও E, B, C-কে সনাক্ত করা যায়। সেক্ষেত্রে E-B জাংশন সম্মুখী বায়াসস্থিত হলে 0.6-0.7-র মধ্যে পাঠ পাওয়া যাবে। আর দ্বিমুখী বায়াসস্থিত হলে 3.0-র কাছাকাছি পাঠ পাওয়া যাবে। অন্যদিকে E এবং C -র মধ্যে উভয় ক্ষেত্রেই 3.0-র কাছাকাছি পাঠ পাওয়া যাবে।

- ট্রান্‌জিষ্টরের প্রধান ব্যবহারগুলি উল্লেখ করুন।

  উত্তর ঃ 8.1 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

একক 9 ❐ জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কন এবং ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক নির্মাণে জেনার ডায়োডের ব্যবহার

গঠন

9.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য

9.2 জেনার ডায়োড সম্পর্কে কিছু জ্ঞাতব্য তথ্য

9.3 মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

9.4 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি

9.5 পরীক্ষণের প্রণালী

9.6 পরীক্ষালব্ধ উপাত্তসমূহ

9.7 পরীক্ষা সম্পর্কিত আলোচনা

9.8 সারাংশ

9.9 প্রশ্নাবলি

9.1 প্রস্তাবনা

পরীক্ষাগার (Laboratory)-এ আমরা যে ইলেকট্রনিক শক্তি উৎস (power supply) গুলি ব্যবহার করি তাহাদের অন্যতম প্রধান উপকরণ হল জোনার ডায়োড। বিপরীত বায়াসে জেনার ডায়োড একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ ভোল্টেজ ধরে রাখতে সক্ষম হয় যাকে বিভঞ্জক ভোল্টেজ (breakdown voltage) বলা হয়। এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে জেনার ডায়োডকে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের (voltage regulation) কাজে ব্যবহার করা হয়।

জেনার ডায়োড হল একটি বিশেষ ধরণের পি-এন্ জাংশন ডায়োড (p-n junction diode)। বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা হল জেনার ডায়োডের বায়াস ভোল্টেজ (bias voltage) অর্থাৎ পি-অঞ্চল (p-region) এবং এন্ অঞ্চল (n-region)-র মধ্যে বিভব প্রভেদ (potential difference) V-র সঙ্গে প্রবাহ (current) I-র লেখচিত্র। বিপরীত বায়াসযুক্ত অবস্থায় বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা থেকে জেনারের বিভঞ্জক ভোল্টেজ পরিমাপ করা যায়। এই এককে সম্মুখ বায়াসযুক্ত অবস্থায় এবং বিপরীত বায়াসযুক্ত অবস্থায় জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা সম্পর্কে আলোচনা করা হবে। 9.2 নং অনুচ্ছেদে জেনার ডায়োড সম্পর্কে তত্ত্বগত আলোচনা করা হবে। 9.3 নং অনুচ্ছেদে ব্যবহার্য সূত্রাদি, 9.4 নং অনুচ্ছেদে ব্যবহার্য

যন্ত্রপাতি, 9.5 অনুচ্ছেদে পরীক্ষণের প্রণালী, 9.6 নং অনুচ্ছেদে পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত লিপিবদ্ধ করার জন্য প্রয়োজনীয় সারণিসমূহ আলোচনা করা হবে। 9.7 নং অনুচ্ছেদে পরীক্ষণ সম্পর্কে আলোচনা করা হবে। পরিশেষে 9.8 নং অনুচ্ছেদে সারাংশ এবং 9.9 নং অনুচ্ছেদে প্রশ্নমালা দেওয়া হবে।

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি–

- সম্মুখ বায়াস (forward bias) এবং বিপরীত বায়াস (reverse bias) এই দুই অবস্থাতেই একটি জেনার ডায়োড (zener diode)-র বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা (characteristic curve) অঙ্কন করতে পারবেন।
- জেনার ডায়োডের সাহায্য কিভাবে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ করা হয় তাও জানতে পারবেন।

9.2 জেনার ডায়োড সম্পর্কে কিছু জ্ঞাতব্য তথ্য

একটি পি-এন্ জাংশন ডায়োডের পি-অঞ্চল এন্-অঞ্চলের তুলনায় উচ্চতর বিভবে (higher potential) থাকলে, অর্থাৎ বায়াস ভোল্টেজ $V > 0$ হলে, ঐ ডায়োডকে সম্মুখ বায়াসস্থিত (forward biased) বলা হয়। অন্যদিকে $V < 0$ হলে, তাকে বিপরীত বায়াসস্থিত বলা হয়। সম্মুখ বায়াসস্থিত পি-

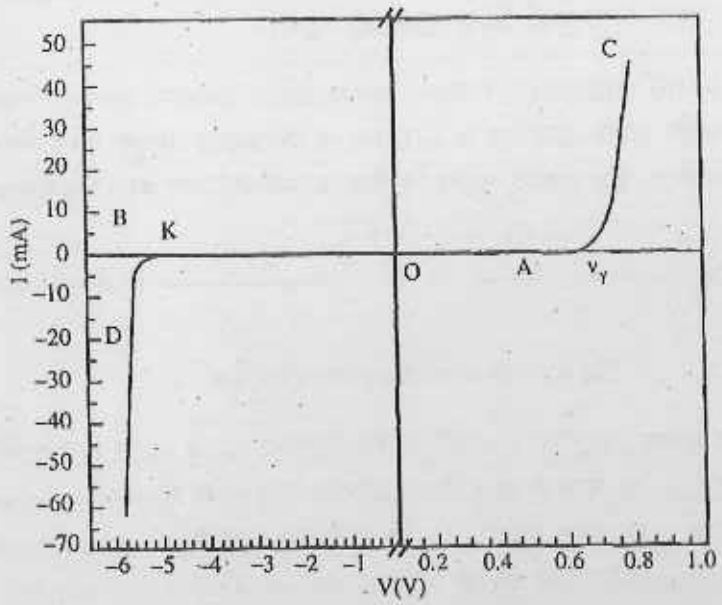
9.1.1. 9.1.2

চিত্র 9.1 : জেনার ডায়োডের সাংকেতিক চিহ্ন

এন্ জাংশন ডায়োডের বায়াস ভোল্টেজ V, একটি নির্দিষ্ট ভোল্টেজ V_γ-র থেকে কম হলে প্রবাহ খুবই স্বল্পমানের হয়। অন্যদিকে $V > V_\gamma$ হলে প্রবাহ I বিভব ভোল্টেজ V-র সঙ্গে সূচকাকারে (exponentially) বৃদ্ধি পায় (9.2 নং চিত্রের OAC অংশ দ্রষ্টব্য)। V_γ-কে বিচ্ছেদক ভোল্টেজ (cut-in voltage) বলা হয়। এর মান সিলিকন (Silicon) ডায়োডের ক্ষেত্রে ~0.6 V এবং জার্মেনিয়াম (Germanium) ডায়োডের ক্ষেত্রে ~0.2 V।

অন্যদিকে বিপরীত বায়াসস্থিত জাংশন ডায়োডের প্রবাহ খুবই কম এবং তা প্রায় বায়াস নিরপেক্ষ। কিন্তু বায়াস ভোল্টেজ একটি নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম করলে প্রবাহ সহসা বহুগুণ বৃদ্ধি পায় যদিও ভোল্টেজ প্রায় স্থির থাকে। একে বিভঞ্জন (breakdown) বলা হয় এবং যে ভোল্টেজে ইহা সংঘটিত হয় তাহাকে বিভঞ্জক ভোল্টেজ (V_Z) বলা হয়। 9.2 নং চিত্রের OKBD অংশ দ্বিমুখী বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্দেশ করছে। যে বিন্দুতে এটা নিম্নগামী হয় (চিত্রের K বিন্দু) তাকে জানুবিন্দু (knee point) এবং ঐ বিন্দুর সংশ্লিষ্ট প্রবাহকে (I_{ZK}) জানুবিন্দুর প্রবাহ (knee current) বলা হয়। KD অংশকে বিভঞ্জক অঞ্চল (breakdown region) বলা হয়। স্বভাবতঃই বিভঞ্জক অঞ্চলে ডায়োডের ক্ষমতার অবক্ষয় (power dissipation) খুব বেশি। সেইজন্য ডায়োডের সঙ্গে একটি যথাযথ মানের রোধ R_S শ্রেণীসমবায়ে যুক্ত করা প্রয়োজন যাতে ডায়োড প্রবাহ I_Z এবং ক্ষমতার অবক্ষয়ের সর্বাধিক মান ((P_Z) max যেখানে $P_Z = I_Z V_Z$) একটি নির্দিষ্ট

সীমা অতিক্রম না করে। জেনার ডায়োড হল একটি বিশেষ ধরণের পি-এন্ জাংশন ডায়োড, যাদেরকে বিভঞ্জক অঞ্চলে নিরাপদে ব্যবহার করা যায়। সুতরাং জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা সাধারণ অর্ধপরিবাহী ডায়োডের (semiconductor diode) অনুরূপ কিন্তু ক্ষমতার অবক্ষয়ের সর্বাধিক মান বা সর্বাধিক ওয়াটক্ষরণ (maximum wattage) তুলনামূলকভাবে অনেক বেশি। জেনার ডায়োডের সর্বাধিক ওয়াটক্ষরণ 0.25 ওয়াট থেকে 50 ওয়াট পর্যন্ত হতে পারে আর বিভঞ্জক ভোল্টেজ 2V থেকে 200V পর্যন্ত হতে পারে। জেনার ডায়োডের নির্মাতারা তাঁদের প্রদত্ত ক্যাটালগে (cattalogue or Data sheet) একটি বিশেষ নিরীক্ষক প্রবাহের (test current) I_{ZT}) জন্য বিভঞ্জক ভোল্টেজ V_Z-র মান সরবরাহ করে থাকেন। নির্মাতাদের ক্যাটালগে $(P_Z)_{max}$-র মানও উল্লেখিত থাকে।



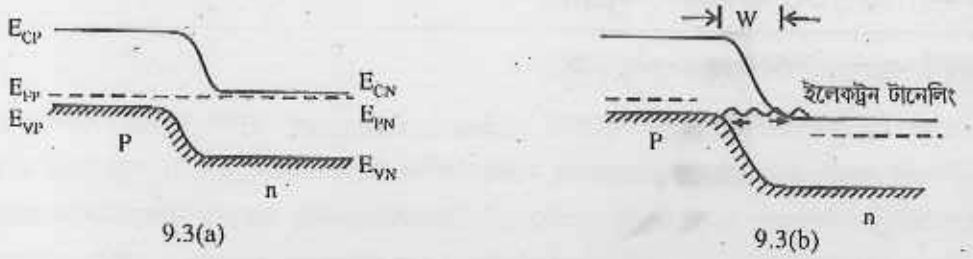
চিত্র 9.2 : জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা

বিপরীত বায়াসস্থিত পি-এন্ জাংশন ডায়োডের বিভঞ্জন দুইরকমভাবে হতে পারে, জেনার বিভঞ্জন (Zener breakdown) এবং সম্প্রপাত বিভঞ্জন (avalanche breakdown)। জেনার বিভঞ্জন সাধারণতঃ স্বল্প ভোল্টেজে সংঘটিত হয় ($V_Z \leq 6V$)। অন্যদিকে সম্প্রপাত বিভঞ্জন অধিকতর ভোল্টেজে সংঘটিত হয়। আমরা দুই প্রকার বিভঞ্জন সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা করব।

জেনার বিভঞ্জন :

একটি উচ্চ খাদসম্পন্ন (heavily doped) পি-এন্ জাংশন ডায়োড বিপরীত বায়াসে থাকলে, তার এন অঞ্চলের পরিবহণ ব্যান্ড (conduction band), পি অঞ্চলের যোজ্যতা ব্যান্ডের (valence band)

মুখোমুখি চলে আসতে পারে (9.2(খ) নং চিত্র দেখুন)। যোজ্যতা ব্যাণ্ডের অন্তর্গত শক্তিস্তরগুলি (energy levels) ইলেকট্রন দ্বারা অধিকৃত (occupied) থাকে। অন্যদিকে পরিবহণ ব্যাণ্ডের অন্তর্গত শক্তিস্তরগুলি খালি (unoccupied or empty) থাকে। এই দুটি ব্যাণ্ডের অন্তর্বর্তী অঞ্চল একটি টানেল জাংশনের (tunnel junction) মতো আচরণ করে। ফলতঃ পি অঞ্চলের অধিকৃত শক্তিস্তর থেকে এন্ অঞ্চলের অনধিকৃত শক্তিস্তরে টানেলিং প্রক্রিয়ায় (tunneling) ইলেকট্রনের পরিবহণ ঘটতে পারে। যেহেতু প্রথা অনুযায়ী তড়িৎপ্রবাহের দিক্ ইলেকট্রন প্রবাহের বিপরীতে ধরা হয়, পি থেকে এন্ অঞ্চলের দিকে ইলেকট্রন পরিবহণের অর্থ হল, এন্ থেকে পি অঞ্চলের দিকে তড়িৎপ্রবাহ। এটাই জেনার বিভঞ্জন। এখন টানেল জাংশনের প্রস্থ (width) বাড়ালে টানেলিংয়ের সম্ভাব্যতা (probability) কমে যায়, সেইজন্য জেনার বিভঞ্জনের জন্য বিরল অঞ্চলের (depletion region) দৈর্ঘ্য খুব ছোটো হওয়া প্রয়োজন। পি এবং এন্ অঞ্চল উচ্চ খাদযুক্ত হলে তবেই বিরল অঞ্চলের দৈর্ঘ্য স্বল্প হতে পারে। এই কারণেই জেনার বিভঞ্জন শুধুমাত্র উচ্চ খাদসম্পন্ন পি-এন্ জাংশনের ক্ষেত্রেই সংঘটিত হয়।



চিত্র 9.3 : জেনার বিভঞ্জন

(a) সাম্যাবস্থায় (বায়াস ভোল্টেজ শূন্য অবস্থায়) উচ্চ খাদসম্পন্ন পি-এন্ জাংশনের যোজ্যতা ব্যাণ্ড ও পরিবহণ ব্যাণ্ডের অবস্থানসমূহ।

E_{CP}, E_{FP} এবং E_{VP} হল যথাক্রমে পি-অঞ্চলের পরিবহণ ব্যাণ্ডের সর্বনিম্ন শক্তিস্তর (lower energy level), ফার্মি শক্তিস্তর (Fermi energy) এবং যোজ্যতা ব্যাণ্ডের সর্বোচ্চ শক্তিস্তর (highest energy level)। E_{Cn}, E_{Fn} এবং E_{vn} হল এন্ অঞ্চলের অনুরূপ রাশিসমূহ।

(b) দ্বিমুখী বায়াসযুক্ত পি-এন্ জাংশন। চিত্রে ইলেকট্রনের টানেলিং দেখান হয়েছে।

সম্প্রপাত বিভঞ্জন ঃ

স্বল্প খাদসম্পন্ন (lightly doped) পি-এন্ জাংশনের ক্ষেত্রে টানেলিংয়ের সম্ভাব্যতা খুব কম। সেইজন্য এই ধরনের জাংশনের জেনার বিভঞ্জন হয় না। এদের বিভঞ্জন নিম্নলিখিত প্রক্রিয়ায় সংঘটিত হয়। ধরা যাক্ পি-এন্ জাংশনকে একটি উচ্চ মানের দ্বিমুখী বায়াসে রাখা হল। ফলে বিরল অঞ্চলে তড়িৎক্ষেত্র E-র মানও খুব বেশি হবে। সেক্ষেত্রে পি অঞ্চলের তাপীয় পদ্ধতিতে উৎপন্ন (thermally generated) একটি ইলেকট্রন উচ্চ তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে উচ্চ গতিশক্তি প্রাপ্ত হয় এবং ল্যাটিসের (lattice) সঙ্গে সংঘর্ষের ফলে নতুন ইলেকট্রন এবং হোল তৈরি করে (9.3 চিত্র দেখুন)। তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে মূল ইলেকট্রনটি এবং

সংঘর্ষের ফলে উৎপন্ন ইলেকট্রনটি এন্ অঞ্চলের দিকে এবং হোল পি অঞ্চলের দিকে চলে যায়। ইলেকট্রন এবং হোলের এই দুই বিপরীত দিকে পরিবহণের ফলে এন্ থেকে পি অঞ্চলের দিকে তড়িৎপ্রবাহ সংঘটিত হয়। আবার উৎপন্ন তড়িৎবাহকগুলির ল্যাটিসের সঙ্গে পুনরায় সংঘর্ষের ফলে নতুন ইলেকট্রন এবং হোল উৎপন্ন হতে পারে। শেষোক্ত তড়িৎবাহকগুলি আবার একইভাবে নতুন তড়িৎবাহক উৎপন্ন করতে পারে। এইভাবে উৎপন্ন তড়িৎবাহকের সংখ্যার প্রচুর বৃদ্ধি হতে পারে। ফলে তড়িৎপ্রবাহও প্রচুর পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। যেহেতু প্রত্যেকটি তড়িৎবাহক অনেক নতুন তড়িৎবাহক সৃষ্টি করে, সেইজন্য একে সম্প্রপাত (avalanche) বলা হয় এবং বিভঞ্জনের এই পদ্ধতিকে সম্প্রপাত বিভঞ্জন বলা হয়।

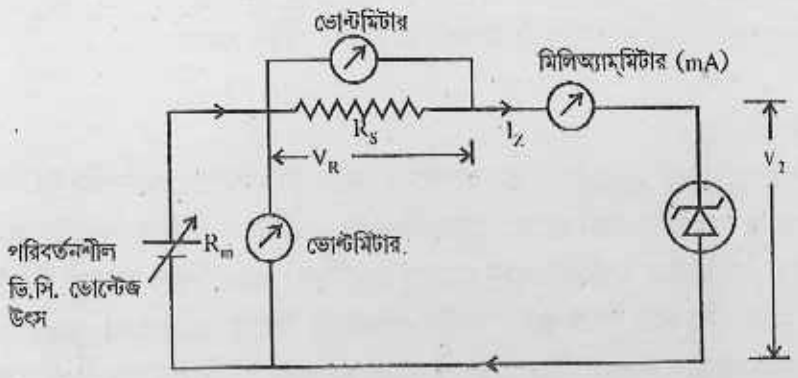
পি-এন্ জাংশন ডায়োডের বিভঞ্জের দুই ধরনের পদ্ধতি সম্পর্কেই আলোচনা করা হল। পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে জেনার বিভঞ্জন স্বল্প ভোল্টেজে এবং সম্প্রপাত বিভঞ্জন অধিকতর ভোল্টেজে সংঘটিত হয়। তবে উভয় ক্ষেত্রেই বিভঞ্জক ডায়োড (breakdown diode)-কে জেনার ডায়োড বলা হয়ে থাকে।

9.3 মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

● **দ্বিমুখী বায়াসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্ণয় :**

9.4 নং চিত্রে প্রয়োজনীয় বর্তনী সংযোগ (circuit connection) দেখান হয়েছে। জেনার প্রবাহ I_z-কে নিয়ন্ত্রণ করার জন্য জেনার ডায়োডের সঙ্গে শ্রেণীসমবায়ে একটি রোধ R_S যুক্ত করা হয়েছে। মিলিঅ্যাম্মিটারের সাহায্যে জেনার প্রবাহ I_z মাপা হয়। ভোল্টমিটার দুটির সাহায্যে পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসের (variable voltage source) ভোল্টেজ V_{in} এবং R_s-র প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ V_R মাপা হয়। সুতরাং জেনার ভোল্টেজ $V_z = V_{in} - V_R$। যেহেতু জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা প্রধানতঃ অরৈখিক (nonlinear), এর নতি (slope) বিভিন্ন বিন্দুতে বিভিন্ন হবে। বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নতিই হল রোধ (resistance)। সুতরাং যে কোন বিন্দুতে জেনার ডায়োডের দুরকম রোধের সংজ্ঞা দেওয়া যেতে পারে :

ডি. সি. রোধ (d.c. resistance) :



চিত্র 9.4 : দ্বিমুখী বায়াসস্থিত জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্ণয়ের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী সংযোগ।

$$r_{dc} = \frac{V_Z}{I_Z} \qquad \ldots (9.1)$$

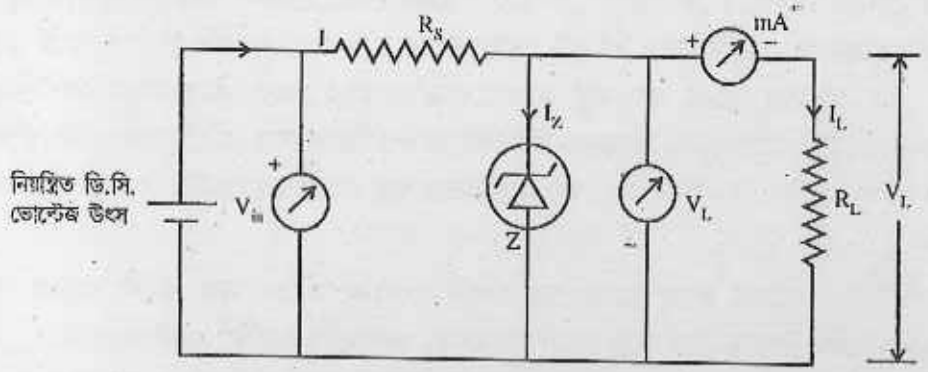
যেখানে V_Z এবং I_Z হল যথাক্রমে ঐ বিন্দুতে জেনার ভোল্টেজ এবং জেনার প্রবাহের মান, এবং এ.সি. রোধ (a.c. resistance or dyanamic resistance) ঃ

$$r_{ac} = \frac{dV_Z}{dI_Z} = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} \qquad \ldots (9.2)$$

স্বভাবতঃই r_{dc} এবং r_{ac}-র মান আলাদা হবে।

● ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ ঃ

পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার বিভঞ্জক অঞ্চলে জেনার ভোল্টেজ ধ্রুবমানে থাকে। এই ধর্মকে ব্যবহার করে জেনার ডায়োডকে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক (voltage regulator) হিসাবে ব্যবহার করা হয়। সংশ্লিষ্ট বর্তনী সংযোগ 9.5 নং চিত্রে প্রদর্শিত হয়েছে। একটি নিয়ন্ত্রিত ডি. সি. ভোল্টেজ উৎসের (regulated d.c. voltage source) সঙ্গে শ্রেণিসমবায়ে রোধ R_S এবং জেনার Z যুক্ত আছে। R_L হল ভাররোধ (load resistance)। মিলিঅ্যামমিটারের সাহায্যে ভারপ্রবাহ (load current) I_L এবং ভোল্টমিটারের সাহায্যে ভার ভোল্টেজ (load voltage) V_L পরিমাপ করা হয়। জেনার ডায়োডের সাহায্যে দুই ধরনের ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ সম্ভব। 9.5 নং চিত্রের বর্তনীতে একটি স্থির মানের ইনপুট ভোল্টেজ V_{in}-র জন্য ভার প্রবাহর সাথে ভার ভোল্টেজের পরিবর্তনকে ভার নিয়ন্ত্রণ (load regulation) বলা হয়। ব্যবহৃত জেনারটির ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের কার্যকারিতা নিম্নলিখিত রাশি দ্বারা প্রকাশ করা হয়



চিত্র 9.5 : জেনার ডায়োডের সাহায্যে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ

$$S_L = \frac{V_{NL} - V_L}{V_{NL}} \times 100 \qquad \ldots (9.3)$$

যেখানে V_L হল I_L-র একটি নির্দিষ্ট মানের অনুযঙ্গী ভার ভোল্টেজ এবং V_{NL} হল $I_L = 0$-র সংশ্লিষ্ট ভার ভোল্টেজ। একে শূন্যভার ভোল্টেজ (no-load voltage) বলা হয়। S_L-কে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের শতাংশ

(percentage regulation) বলা হয়। স্বভাবতঃই S_L-র মান যত কম হবে, জেনারটি তত ভাল ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের কাজ করবে।

ভার প্রবাহ I_L-কে একটি নির্দিষ্ট মানে স্থির রেখে V_{in}-র সঙ্গে V_L-র পরিবর্তনকে লাইন ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ (line regulation) বলা হয়। এক্ষেত্রে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের পরিমাপ হল ইন্‌পুট্‌ নিয়ন্ত্রণ গুণাঙ্ক (input regulation factor).

$$S_i = \frac{\Delta V_L}{\Delta V_{in}} \qquad ...(9.4)$$

S_i-র মান যত ছোটো হবে, তত ভাল ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ হবে।

9.4 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি

(i) একটি জেনার ডায়োড, (ii) একটি পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎস (variable voltage source), (iii) একটি রোধবাক্স (resistance box), (iv) একটি মিলিঅ্যাম্‌মিটার (mA), (v) দুটি ভোল্টমিটার অথবা একটি ডিজিটাল মাল্টিমিটার (digital multimeter)।

মিলি অ্যাম্‌মিটার ও ভোল্টমিটার বিভিন্ন সীমা (range)-র হওয়া প্রয়োজন।

9.5 পরীক্ষণের প্রণালী

● প্রথমে জেনার ডায়োডের পি এবং এন্‌ (অর্থাৎ অ্যানোড (anode) এবং ক্যাথোড (cathode))-কে সনাক্ত করুন। সাধারণতঃ মাল্টিমিটারে এই দুটি সনাক্তকরণের ব্যবস্থা থাকে। যদি তা নাও থাকে তাহলে ডায়োডের রোধ পরিমাপ করেও অ্যানোড ও ক্যাথোড সনাক্তরণ সম্ভব। অ্যানোডকে মাল্টিমিটারের তড়িৎকোষের পজিটিভের সাথে এবং ক্যাথোডকে মাল্টিমিটারে তড়িৎকোষের নেগেটিভের সাথে যুক্ত করলে দেখা যাবে যে ডায়োডটির রোধ খুবই কম। আর উল্টোভাবে যুক্ত করলে ডায়োডটির রোধ তুলনায় অনেক বেশি হবে।

● ক্যাথোড এবং অ্যানোড সনাক্তকরণের পর আপনি (9.4) নং চিত্রের মতো বর্তনী সংযোগ করুন। R_s-র মান নিম্নলিখিত উপায়ে স্থির করুন। ধরা যাক্‌ ব্যবহৃত জেনারটির সর্বাধিক ওয়াটক্ষরণ $(P_Z)_{max}$ এবং বিশেষ নিরীক্ষক প্রবাহ I_{ZT}। শেষোক্ত রাশিটি মোটামুটি সর্বোচ্চ জেনার প্রবাহ I_{ZM}-র এক-চতুর্থাংশের সমান হয়। এবার বিভঞ্জক ভোল্টেজের আসন্ন মান V_Z হলে,

$$I_{ZT}V_Z = \frac{1}{4}(P_z)_{max} \qquad ....(9.5)$$

(9.5) নং সমীকরণ থেকে V_Z-র আসন্ন মান নির্ণয় করুন। ধরা যাক্‌ ইন্‌পুট্‌ ভোল্টেজের সর্বোচ্চ মান $(V_{in})_{max}$। সুতরাং R_S-র প্রান্তীয় বিভব প্রভেদের সর্বোচ্চ মান $(V_R)_{max} = (V_{in})_{max} - V_Z$ এবং R_S-র মধ্য

দিয়ো সর্বাধিক প্রবাহ $\frac{(V_R)_{max}}{R_S}$ সর্বাধিক ওয়াটক্ষরণ $\frac{(V_{in})_{max} - V_Z}{R_S} V_Z$।

$$\frac{(V_{in})_{max} - V_Z}{R_S} V_Z \le (P_Z)_{max} \qquad ....(9.6)$$

(9.6)নং সমীকরণ থেকে R_S-র ন্যূনতম মান পাওয়া যায়। অন্যদিকে R_S-র ওয়াটক্ষরণ

$$(P_R)_{max} = \frac{[(V_{in})_{max} - V_Z]^2}{R_S} \qquad ....(9.7)$$

এর মানও একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে রাখা প্রয়োজন। উদাহরণস্বরূপ ধরা যাক্

$$(P_Z)_{max} = \frac{3}{4} Watt$$

$$I_{ZT} = 30mA$$

$$(V_{in})_{max} = 10V$$

$$\therefore\ 30 \times 10^{-3} \times V_Z = \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} \Rightarrow V_Z = 6.25\,\text{V}$$

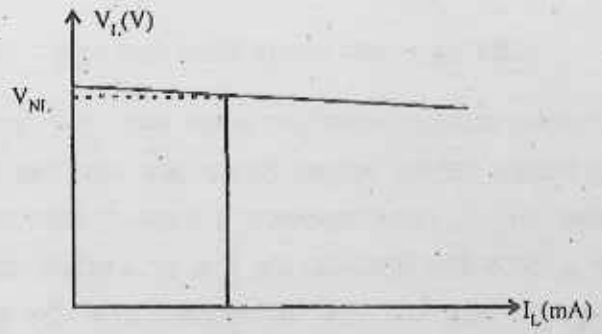
$(V_{in})_{max} - V_Z = 10 - 6.25 = 3.75V.$ $\therefore$ R_S-র মধ্য দিয়ে প্রবাহ $\frac{3.75}{R_S}$

$$\therefore\ \frac{3.75}{R_S} \times 6.25 = \frac{3}{4} \quad \therefore R_S = 31\Omega$$

অর্থাৎ R_s-র মান 31 Ω-র বেশি নিতে হবে। অন্যথায় জেনারটি নষ্ট হয়ে যেতে পারে।

- বর্তনী সংযোগ করার পর ইন্‌পুট্ ভোল্টেজ V_{in}-র মান শূন্য থেকে ধাপে ধাপে বৃদ্ধি করুন। এখানে উল্লেখ্য যে V_{in}-র মান যখন বিভঞ্জক ভোল্টেজ V_z-র থেকে কম থাকে তখন প্রতি ধাপে V_{in}-কে 1V করে

চিত্র 9.6.1 : ভার নিয়ন্ত্রণ বক্রের নমুনা

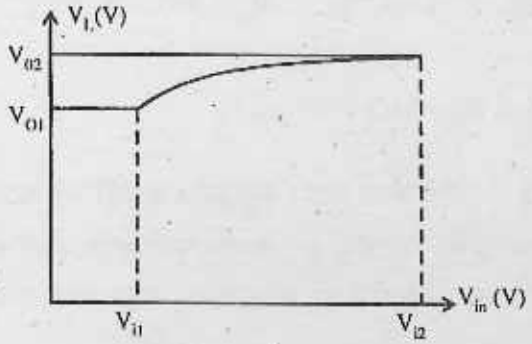


বৃদ্ধি করলেই চলবে। কিন্তু V_{in}-র মান যখন V_Z-এর কাছাকাছি চলে আসবে তখন ভোল্টেজের এই বৃদ্ধি কম করে করতে হবে। নাহলে আপনি জানু অঞ্চল (knee region)-কে বুঝতে পারবেন না। বিভঞ্জক অঞ্চলে ভোল্টেজের বৃদ্ধির পরিমাণ আরও কম করতে হবে কারণ এই অঞ্চলে ভোল্টেজের সঙ্গে প্রবাহের বৃদ্ধি সবথেকে তীক্ষ্ণ (sharp)। প্রত্যেক ধাপে V_{in} এবং V_R পরিমাপ করুন। জেনারের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ বা বায়াসে ভোল্টেজ $V_Z = V_{in} - V_R$। মিলিঅ্যাম্মিটার (mA)-র সাহায্যে জেনারের প্রবাহ I_Z পরিমাপ করুন।

- V_z-কে ঋণাত্মক x-অক্ষ বরাবর এবং I_Z-কে ঋণাত্মক y-অক্ষ বরাবর অঙ্কন করে $V_Z - I_Z$ লেখচিত্র অঙ্কন করুন। এটাই জেনার ডায়োডের দ্বিমুখী বায়াসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা।

- বৈশিষ্ট্যমূলক রেখায় জানু অঞ্চল ও বিভঞ্জক অঞ্চল নির্দেশ করুন। বিভিন্ন জেনার প্রবাহের জন্য r_{dc} এবং r_{ac} নির্ণয় করুন।

- এবার জেনার ডায়োডের অ্যানোড এবং ক্যাথোডের অবস্থান বিনিময় করুন যাতে জেনারটি সম্মুখ বায়াসে থাকে। একই পদ্ধতি অবলম্বন করে সম্মুখ বায়াসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কন করুন। সর্বোচ্চ জেনার প্রবাহ জেনারটির স্বাতন্ত্র (specification)-র উপর নির্ভরশীল। তবে সম্মুখী বায়াসে জেনার প্রবাহ 50 mA-র অধিক করার কোন প্রয়োজন নেই। V_Z-কে পজিটিভ x-অক্ষ বরাবর এবং I_Z-কে পজিটিভ y-অক্ষ বরাবর অঙ্কন করে একই লেখচিত্রে সম্মুখী বায়াসের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কন করুন। সম্মুখী বায়াসের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা থেকে বিচ্ছেদক ভোল্টেজ V_γ নির্ণয় করুন। বিভিন্ন জেনার প্রবাহের জন্য r_{dc} এবং r_{ac} নির্ণয় করুন।



চিত্র 9.6.2: লাইন ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ বক্রের নমুনা

- ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণে জেনার ডায়োডের কার্যকারিতা বোঝার জন্য 9.5 নং চিত্রের মতো বর্তনী সংযোগ করুন। প্রথমে V_{in}-কে বিভঞ্জক ভোল্টেজ অপেক্ষা উচ্চতর কোন মানে স্থির রাখুন। ভারবোধ R_L-কে বর্তনী থেকে বিচ্ছিন্ন করুন। ($R_L = \infty$) ফলে ভারপ্রবাহ $I_L = 0$ হবে। সংশ্লিষ্ট ভার ভোল্টেজ (V_{NL})-র পাঠ নিন। এবার R_L-র মান ∞ থেকে ধীরে ধীরে কমান এবং I_L ও V_L-র সংশ্লিষ্ট পাঠ নিতে থাকুন। প্রত্যেকটি পাঠ নেবার আগে V_{in} ধ্রুবমানে আছে কিনা দেখে নিন। প্রয়োজনে একে সঠিক ধ্রুবমানে নিয়ে আসুন। I_L-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_L-কে y-অক্ষ বরাবর লেখচিত্রায়িত করে ভার নিয়ন্ত্রণ বক্র (load regulation

curve) অঙ্কন করুন। এবার V_{in}-কে পূর্বাপেক্ষা অধিকতর মানে স্থির রেখে পুনরায় একই স্কেলে ভার নিয়ন্ত্রণ বক্র অঙ্কন করুন। দুই ক্ষেত্রেই I_L-র একই মানের জন্য (30-40 mA) ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ শতাংশ S_L বার করুন।

লাইন ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ বোঝার জন্য V_{in}-কে প্রথমে V_z অপেক্ষা সামান্য অধিক মানে স্থির করুন। R_L-কে পরিবর্তন করে I_L-কে একটি নির্দিষ্ট মানে স্থির করুন। এবার V_{in}-কে ধাপে ধাপে বৃদ্ধি করুন এবং প্রত্যেক ধাপে V_{in} এবং V_L-র পাঠ নিন। প্রত্যেকবার I_L স্থির মানে আছে কিনা দেখে নিন। প্রয়োজনে R_L-কে পরিবর্তন করে I_L- কে স্থির মানে নিয়ে আসুন। V_{in}-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_L-কে y-অক্ষ বরাবর লেখচিত্রায়িত করে ইন্‌পুট্‌ নিয়ন্ত্রণ বক্র অঙ্কন করুন। লেখচিত্র থেকে S_i-র মান নির্ণয় করুন। I_L-র অপর একটি স্থির মানের জন্যও লাইন নিয়ন্ত্রণ বক্র অঙ্কন করুন এবং S_i-র মান নির্ণয় করুন।

9.6 পরীক্ষালব্ধ উপাত্তসমূহ

(i) জেনার ডায়োডের উপাত্তসমূহ এবং ব্যবহৃত মিটারসমূহ ঃ

সর্বোচ্চ ওয়াটক্ষরণ $(P_Z)_{max}$ =

বিশেষ নিরীক্ষক প্রবাহ I_{ZT} =

সারণি 9.1

ব্যবহৃত মিটার	সীমা	সর্বনিম্ন বিভাজন	শূন্যাংক ত্রুটি (zero error)

(ii) R_S-র গণনা ঃ

(iii) বিপরীত বায়াসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কনের জন্য প্রয়োজনীয় উপাত্ত ঃ

সারণি 9.2

ইন্‌পুট্‌ ভোল্টেজ $V_{in}(V)$	R_S-র প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ $V_R(V)$	জেনার ভোল্টেজ $V_Z = V_{in} - V_R(V)$	জেনার প্রবাহ $I_Z(mA)$

(iii) r_{dc} এবং r_{ac}-র গণনা ঃ

সারণি 9.3

প্রবাহ I_Z(mA)	লেখচিত্র থেকে সংশ্লিষ্ট ভোল্টেজ V_Z(V)	$r_{dc} = \frac{V_Z}{I_Z}(\Omega)$	লেখচিত্র থেকে ΔI_Z-র মান (mA)	লেখচিত্র থেকে ΔV_Z-র মান (V)	$r_{ac} = \frac{\Delta V_z}{\Delta I_z}(\Omega)$

(iv) সম্মুখ বায়াসে বৈশিষ্ট্যমূলর রেখা অঙ্কনের জন্য প্রয়োজনীয় উপাত্ত ঃ

সারণি 9.4

ইনপুট্ ভোল্টেজ $V_{in}(V)$	R_S-র প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ $V_R(V)$	জেনার ভোল্টেজ $V_Z = V_{in} - V_R(V)$	জেনার প্রবাহ $I_Z(mA)$

(v) r_{dc} এবং r_{ac}-র গণনা ঃ

সারণি 9.5

প্রবাহ I_Z(mA)	লেখচিত্র থেকে সংশ্লিষ্ট ভোল্টেজ V_Z(V)	$r_{dc} = \frac{V_Z}{I_Z}$ (Ω)	লেখচিত্র থেকে ΔI_Z-র মান (mA)	লেখচিত্র থেকে ΔV_Z-র মান (V)	$r_{ac} = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$ Ω

(vi) ভার নিয়ন্ত্রণের উপাত্ত ঃ

সারণি 9.6

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ইনপুট্ ভোল্টেজের স্থির মান $V_{in} = ... V$		ইনপুট্ ভোল্টেজের স্থির মান $V_{in} = ... V$	
	ভার প্রবাহ $I_L(mA)$	ভার ভোল্টেজ $V_L(V)$	ভার প্রবাহ $I_L(mA)$	ভার ভোল্টেজ $V_L(V)$

(vii) ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ শতাংশ S_L-র গণনা ঃ

সারণি 9.7

V_{in}(V)	ভার প্রবাহ I_L(mA)	শূন্যভার ভোল্টেজ V_{NL}(V)	ভার প্রবাহ I_L-র সংশ্লিষ্ট ভার ভোল্টেজ V_L(V)	$S_L = \frac{V_{NL} - V_L}{V_{NL}} \times 100$

(viii) লাইন ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের উপাত্ত ঃ

সারণি 9.8

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ভার প্রবাহের স্থির মান $I_L = ...mA$		ভার প্রবাহের স্থির মান $I_L = ...mA$		
	ইনপুট্ ভোল্টেজ $V_{in}(V)$	আউটপুট্ ভোল্টেজ $V_L(V)$	ইনপুট্ ভোল্টেজ $V_{in}(V)$	আউটপুট্ ভোল্টেজ $V_L(V)$	

(ix) ইনপুট্ নিয়ন্ত্রণ গুণাঙ্ক S_i-র গণনা ঃ

সারণি 9.9

ভার প্রবাহ I_L(mA)	V_{i1}(V)	V_{01}(V)	V_{i2}(V)	V_{02}(V)	$S_i = \frac{V_{02} - V_{01}}{V_{i2} - V_{i1}} \times 100$

7.7 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা

● লক্ষ্য রাখা প্রয়োজন যেন জেনার প্রবাহ I_Z সর্বোচ্চ জেনার প্রবাহ I_{ZM}-র থেকে কম থাকে। সেজন্য R_S-র অবম মান নির্ভুলভাবে নির্ণয় করতে হবে এবং এই অবম মানের থেকে অধিক মানের রোধ জেনারের সঙ্গে শ্রেণিতে সংযুক্ত করতে হবে। তবে R_S-র মান খুব বেশী হওয়া উচিত নয়। কারণ সেক্ষেত্রে I_Z খুব স্বল্পমানের হবে এবং জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার বিভঞ্জক অঞ্চল বোঝা যাবে না।

● (9.4) নং চিত্রে দুটি ভোল্টমিটারের সাহায্যে V_{in} এবং V_R পরিমাপ করে $V_Z = V_{in} - V_R$ এই সম্পর্কের সাহায্যে V_Z বার করা হয়েছে। কিন্তু পরীক্ষাগারে ডিজিটাল মাল্টিমিটার (যার আভ্যন্তরীণ রোধ খুবই বেশী) থাকলে V_Z সরাসরি পরিমাপ করা যেতে পারে।

● ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ সংক্রান্ত পরীক্ষণ চলাকালীন লক্ষ্য রাখুন যেন $R_L = 0$ না হয়। অর্থাৎ রোধবাক্সের সবগুলি চাবি যেন কখনই সংযুক্ত না থাকে।

● জেনার ডায়োডের সাহায্যে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ করার জন্য ইনপুট্ ভোল্টেজ V_{in}-র মান জেনারের বিভঞ্জক ভোল্টেজ V_Z^B অপেক্ষা অধিক হওয়া প্রয়োজন। সেক্ষেত্রে R_S-র মধ্য দিয়ে মোট প্রবাহ $I = \frac{V_{in} - V_Z^B}{R_S} = I_Z + I_L$। স্বভাবতঃই I_L যত বেশী হবে, I_Z তত কম হবে। যতক্ষণ পর্যন্ত I_Z-র মান জানুবিন্দুর প্রবাহ I_{ZK} অপেক্ষা অধিক থাকবে, অর্থাৎ যতক্ষণ আপনি জেনারের বিভঞ্জক আবদ্ধ থাকবেন, ততক্ষণ ভোল্টেজ V_Z^B মানেই স্থির থাকবে। কিন্তু $I_Z < I_{ZK}$ হলেই ভার ভোল্টেজের মান V_Z^B থেকে কম যাবে এবং জেনার ডায়োড আর ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ করতে পারবে না।

9.8 সারাংশ

এই এককে আমরা সম্মুখ বায়াসস্থিত জেনার ডায়োড এবং বিপরীত বায়াসস্থিত জেনার ডায়োড, উভয়েরই বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্ণয়ের পদ্ধতি সম্পর্কে আলোচনা করেছি। জেনার ডায়োড প্রধানতঃ বিপরীত বায়াসস্থিত অবস্থায় ব্যবহৃত হয়, বিশেষতঃ যখন এর বায়াস ভোল্টেজ, বিভঞ্জক ভোল্টেজের থেকে বেশী থাকে। জেনার ডায়োডের বিভঞ্জন সম্পর্কেও আমরা সংক্ষিপ্ত আলোচনা করেছি। তদুপরি ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক নির্মাণে জেনার ডায়োড কিভাবে ব্যবহৃত হতে পারে, সে সম্পর্কেও বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে।

9.9 প্রশ্নাবলি

- জেনার ডায়োড এবং সাধারণ পি-এন্ জাংশন ডায়োডের মধ্যে তফাৎ কী ?

  উত্তর ঃ 9.2 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- জানুবিন্দু বলতে কী বোঝায় ?

  উত্তর ঃ 9.2 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- জেনার বিভঞ্জন বেং সম্প্রপাত বিভঞ্জন বলতে কী বোঝায় ?

  উত্তর ঃ 9.2 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- R_S-র সর্বনিম্ন মান কীভাবে নির্ণয় করা হয়ে থাকে ?

  উত্তর ঃ 9.5 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- R_S-র মান খুব বেশী হলে কী অসুবিধা হবে ?

  উত্তর ঃ 9.7 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক বলতে কী বোঝায় ?

  উত্তর ঃ একটি আদর্শ ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক (ideal voltage regulator) হল এরূপ একটি ইলেকট্রনিক যন্ত্র যার উৎপাদিত ভোল্টেজ (output voltage), ভার প্রবাহ, ইনপুট্ লাইন ভোল্টেজ এবং উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল নয়।

- ভার নিয়ন্ত্রণ এবং লাইন ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ বলতে কী বোঝায় ?

  উত্তর ঃ 9.3 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- বিভঞ্জক ভোল্টেজ উষ্ণতার উপর কীভাবে নির্ভর করে ?

  উত্তর ঃ জেনার বিভঞ্জনের ক্ষেত্রে বিভঞ্জক ভোল্টেজ উষ্ণতার বৃদ্ধির সঙ্গে হ্রাস পায়। এর কারণ জেনার বিভঞ্জন হল প্রধানতঃ একটি টানেলিং প্রক্রিয়া (9.2নং অনুচ্ছেদ দেখুন)। উষ্ণতার সঙ্গে পি অঞ্চলের যোজ্যতা ব্যাণ্ডের ইলেকট্রনগুলির শক্তি বৃদ্ধি পায়। ফলে তারা সহজেই টানেলিং প্রক্রিয়ায় এন্

অঞ্চলের পরিবহণ ব্যাণ্ডে উন্নীত হয়। সুতরাং উষ্ণতা বৃদ্ধি পেলে বিভঞ্জক ভোল্টেজ হ্রাস পাবে। অন্যদিকে সম্প্রপাত বিভঞ্জনের ক্ষেত্রে উষ্ণতার সঙ্গে ল্যাটিসের অণুগুলির কম্পনজনিত বিস্তার বৃদ্ধি পায়। ফলে ইলেকট্রন অথবা হোলের এদের সঙ্গে সংঘর্ষের সম্ভাবনাও বৃদ্ধি পায়। সংঘর্ষের হার বৃদ্ধি পাওয়ায় তড়িৎ পরিবাহকগুলি দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী সময়ে সম্প্রপাত প্রক্রিয়া শুরু করার মত যথেষ্ট শক্তি অর্জন করতে পারে না। ফলে বিভঞ্জক ভোল্টেজ উষ্ণতার সঙ্গে বৃদ্ধি পায়।

একটি জেনার ডায়োডের বিভঞ্জক ভোল্টেজ $V_Z{}^B$ মোটামুটি 5V-র অনধিক হলে বলা যায় যে জেনার বিভঞ্জনই হল প্রধান ক্রিয়াবিধি (mechanism)। অন্যদিকে সম্প্রপাত বিভঞ্জনের ক্ষেত্রে $V_Z{}^B \geq 6\,V$। 5V থেকে 6V -র মধ্যে উভয় প্রক্রিয়াই বর্তমান থাকে। সুতরাং বিভঞ্জক ভোল্টেজ 5V-র কম হলে উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে হ্রাস পাবে অর্থাৎ বিভঞ্জক ভোল্টেজের উষ্ণতা গুণাঙ্ক (temperature coefficient) ঋণাত্মক সংখ্যা হবে। 5V থেকে 6V-র মধ্যে উষ্ণতা গুণাঙ্ক ঋণাত্মক থেকে ধনাত্মক হয়। সুতরাং এই দুটি মানের মধ্যে বিভঞ্জক ভোল্টেজের একটি মান পাওয়া যাবে যার উষ্ণতা গুণাঙ্ক $V_Z{}^B$, 6 V-র অধিক হলে উষ্ণতা গুণাঙ্ক ধনাত্মক হবে।

একক 10 ❐ পোলারিমিটারের সাহায্যে চিনির দ্রবণের গাঢ়ত্ব ও আলোকীয় ঘূর্ণনের সম্পর্ক নির্ণয়

গঠন

10.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

10.2 চিনির দ্রবণের আলোকীয় ঘূর্ণন

10.2.1 মূলগত তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

10.2.2 পরীক্ষণের কার্যক্রম ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

10.2.3 পরীক্ষণ লব্ধ ফলাফল

10.3 সারাংশ

10.4 প্রশ্নাবলি

10.5 উত্তরমালা

10.1 প্রস্তাবনা

পোলারিমিতি (polarimetry) কী ?

সাধারণভাবে পোলারিমিটার বলতে বোঝায় এমন এক যন্ত্রসজ্জা যা কোনও ধ্রুবিত (সমবর্তিত) আলোক রশ্মিগুচ্ছের উপবৃত্ত-ধর্ম (ellipticity) বা $\vec{E}$-ভেক্টরের দিগংশ (azimuth) নির্ণয় করে থাকে। রসায়নবিদ্‌দের কাছে অবশ্য পোলারিমিটারের অর্থ এমন যন্ত্রব্যবস্থা যা কোনও রেখা ধ্রুবিত আলোকরশ্মিগুচ্ছ দিগংশের পরিবর্তন পরিমাপ করে, যখন ঐ রশ্মিগুচ্ছ কোনও বৃত্ত দ্বিপ্রতিসারক (circularly birefringent) দ্রবণের অর্থাৎ আলোক-সক্রিয় (optically active) দ্রবণের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয়। এই দিগংশ-পরিবর্তনের মান $\Delta\phi$ অতি সূক্ষ্মভাবে নিরূপণ করে বলে দেওয়া যায় যে ঐ দ্রবণে বৃত্ত দ্বিপ্রতিসারক দ্রাবকের গাঢ়ত্ব, c কত, কেননা

$$c = \frac{\Delta\phi}{[s]^0_\lambda . L}$$

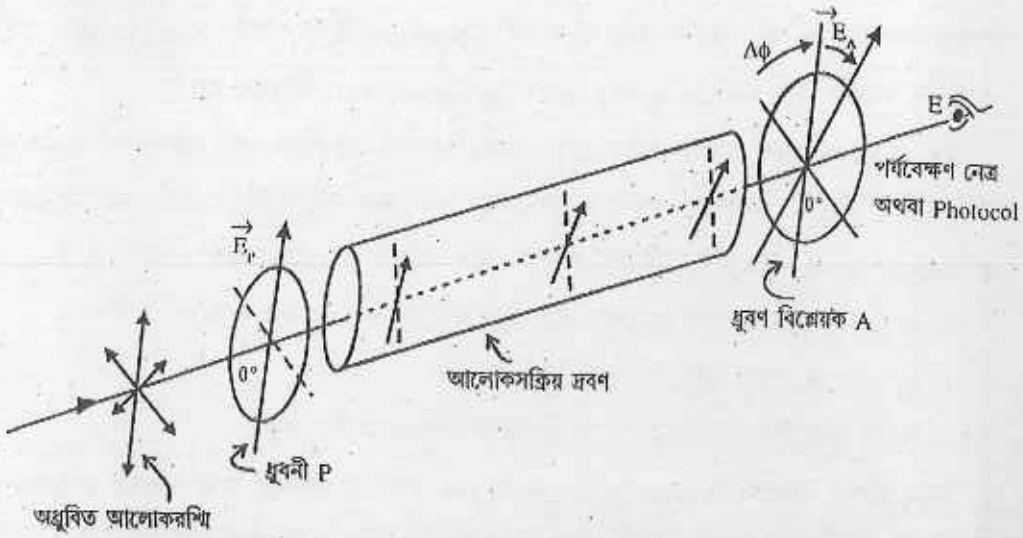
এই সূত্রে $\Delta\phi$ = রৈখিক ধ্রুবীভূত আলোকরশ্মির দ্রবণ থেকে নির্গমনের পর দিগংশের পরিবর্তন

L = অতিক্রান্ত দ্রবণের পথদৈর্ঘ্য (cm)

$[s]^0_\lambda$-কে বলা হয় আপেক্ষিক ঘূর্ণনাংক বা ঘূর্ণনঘটিত ক্ষমতা (rotatory power)

$[s]^{\theta}_{\lambda}$ যেহেতু উন্নতা θ এবং আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ-র উপর গভীরভাবে নির্ভরশীল, সূক্ষ্ম পরিমাপে একবর্ণী আলোক অবশ্যই ব্যবহার্য।

চিত্র **10.1a** : পোলারিমিটার



আলোকরশ্মির **ধ্রুবণ** (polarisation) সম্পর্কে আমরা যা জানি তা নিম্নে সংক্ষেপে বিবৃত হলো।

বিভিন্ন পরীক্ষণের তত্ত্বীয় আলোচনা ও বিশ্লেষণ থেকে জানা গেছে যে আলোক উৎস থেকে দৃশ্যমান আলোক প্রবাহিত হয় তির্যক ভেক্টর তরঙ্গারূপে (transverse vector waves)। $\vec{r}$ অবস্থান ভেক্টর দ্বারা চিহ্নিত বিন্দুতে t সময়ে যে তড়িচ্চুম্বকীয় ভেক্টর $\bar{E}(\vec{r}, t)$ এবং $\bar{B}(\vec{r}, t)$ উপস্থিত থাকে তারা পরস্পর সমকোণে অবস্থিত এবং তরঙ্গের প্রবাহের দিক্-সাপেক্ষে $\hat{k}$ তির্যক সমতলে অবস্থান করে থাকে। ফলে তরঙ্গ ভেক্টর $\bar{k} = \frac{2\pi}{\lambda}\hat{k}$ -এর দিকে প্রবাহিত আলোক রশ্মিগুচ্ছের কেবল একটিই প্রতিসাম্যের সমতল (one plane of symmetry) পাওয়া যায় যাতে $\hat{k}$ এবং $\bar{E}$ অবস্থান করে।

সাধারণ আলোক-উৎস থেকে আগত আলোকরশ্মিগুচ্ছের ক্ষেত্রে ঐ রশ্মির দিক্ সাপেক্ষে একটি ঘূর্ণনপ্রধান সাম্য (rotational symmetry) থাকে। বস্তুত কোনও আলোকসংবেদী যন্ত্রকে যদি (ঐ রশ্মিকে অক্ষ কল্পনা করে) ঘোরানো হয় তাহলে ঐ যন্ত্রের লিপিবদ্ধ আলোকপ্রাবল্যের মানে কোনও তারতম্য দেখা যাবে না। এই আলোককে বলা হয় প্রাকৃতিক আলোক বা অধ্রুবিত (unpolarised) আলোক।

প্রাকৃতিক আলোকরশ্মির প্রবাহ-দিক, $\hat{k}$ সাপেক্ষে এই ঘূর্ণনপ্রধান সাম্য ভেঙে দেওয়া যায় অনেক ধরনের যন্ত্র দ্বারা—এগুলির নাম ধ্রুবণী (polarisers)—এবং ফলে যে আলোকরশ্মি পাওয়া যাবে তাতে রশ্মির সংশ্লিষ্ট $\bar{E}$ ভেক্টরটি $\bar{k}$ সাপেক্ষে একটা বিশেষ অবস্থানে ধ্রুবিত অর্থাৎ নির্দিষ্ট দিকে সীমাবদ্ধ থেকে

স্পন্দিত হবে রশ্মির সর্বত্র। আলোকরশ্মির ধ্রুবণীগুলি বহুবিধ হয় যথা বিশেষভাবে ব্যবহৃত দর্পন-যুগ্ম, দ্বি-প্রতিসারক কেলাস, বর্তমানে ব্যবহৃত শীট্-ধ্রুবণী ইত্যাদি। এছাড়া সরাসরি ধ্রুবিত আলোকরশ্মিরও বহু পরীক্ষণ ব্যবস্থায় সৃষ্ট হয়ে থাকে—যথা ত্সেমান (Zeeman) প্রক্রিয়া, স্টার্ক্ (Stark) প্রক্রিয়া প্রভৃতি।

ধ্রুবীন তলের ঘূর্ণন (rotation of plane of polariasation) **কীভাবে হয়?**

রেখা ধ্রুবিত আলোক তরঙ্গ কোনো কোনো স্বচ্ছ পদার্থের মধ্য দিয়ে যখন অগ্রসর হয় তখন এর ধ্রুবণ তলটি রশ্মির দিক $\bar{k}$ সাপেক্ষে ক্রমাগত ঘূর্ণিত হয়; ঐ স্বচ্ছ পদার্থগুলিকে বলা হয় আলোক-সক্রিয় (optically active)। আলোক-সক্রিয়তা প্রদর্শন করে এমন বস্তুর শ্রেণীবিভাগ এরকম ঃ

(i) কিছু ঘন বস্তুর কেলাস; এদের মধ্যে দ্বিপ্রতিসারক নয় এমনও রয়েছে।

(ii) কিছু বিশুদ্ধ তরল এবং গ্যাসীয় পদার্থ।

(iii) আলোক-সক্রিয় নয় এমন দ্রাবকে দ্রবীভূত আলোক সক্রিয় বস্তু।

বিষয় দৈশিক কেলাস (anisotropic crystal)-এ যখন আলোকীয় অক্ষ বরাবর আলোক তরঙ্গ প্রবাহিত হয় তখন ধ্রুবণ তলের ঘূর্ণনটি বিশুদ্ধভাবে পাওয়া যায়। আলোকীয় অক্ষ ব্যতিরেকে অন্য দিকে আলোক প্রবাহিত হলে দ্বিপ্রতিসারণ সংক্রান্ত প্রক্রিয়ার ফলে ঘূর্ণনটি জটিলতর হয়ে ওঠে।

আলোক সক্রিয় বস্তুর দুটি স্থূল বিভাগ এই ঃ যে বস্তুগুলি ধ্রুবন তলটিকে বামাবর্তে (anticlockwise) ঘোরায় তাদের বলা হয় বামাবর্তনী (laevo-rotatory)। মনে রাখ্বার কৌশল ঃ ইংরেজী Left-এর 'l' মনে রাখলেই বামাবর্তনীর 'বাম' মনে থাকবে। এবং যারা ধ্রুবন তলটিকে দক্ষিণাবর্তে (clockwise) ঘুরিয়ে দেয় তাদের বলা হয় দক্ষিণাবর্তনী (dextro-rotatory)—বাম-দক্ষিণ বিচার করার জন্য আগত রশ্মিগুচ্ছের বিপরীত দিক থেকে তাকিয়ে পর্যবেক্ষণ করতে হবে এটাই রীতি।

ঘূর্ণনের ব্যাখ্যা ঃ ফ্রেনেল-প্রবর্তিত তত্ত্ব (যা পরীক্ষণ দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে) থেকে জানা যায় যে আলোকসক্রিয় বস্তুতে প্রবেশ করার পূর্বে যে রেখা ধ্রুবিত আলোকরশ্মি রয়েছে সেটিকে একই কম্পাংকের দুটি বৃত্তীয় ধ্রুবিত তরঙ্গ (circularity polarised) হিসাবে ভাবা যায়—একটি বামাবর্তী ও অন্যটি দক্ষিণাবর্তী। আলোকসক্রিয় বস্তুতে প্রবেশ করার পর বৃত্তীয় বামাবর্তী তরঙ্গের দশামানের গতিবেগ (phase velocity) যদি V_L হয় এবং দক্ষিণাবর্তী তরঙ্গের দশামানের অনুরূপ গতিবেগ V_R হলে যদি তরঙ্গ 'L' দূরত্ব অগ্রসর হয় তাহলে ধ্রুবন তলটি যে ϕ-কোণে ঘূর্ণিত হবে তার পরিমাণ

$$\phi = \frac{\phi_R - \phi_L}{2}$$

$$= \frac{1}{2}\frac{2\pi L}{\lambda_0}(\mu_L - \mu_R) = \frac{\pi L}{\lambda_0}(\mu_L - \mu_R),\ (\mu_L = c/v_L, \mu_R = c/v_R)$$

λ_0 = শূন্যস্থানে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য

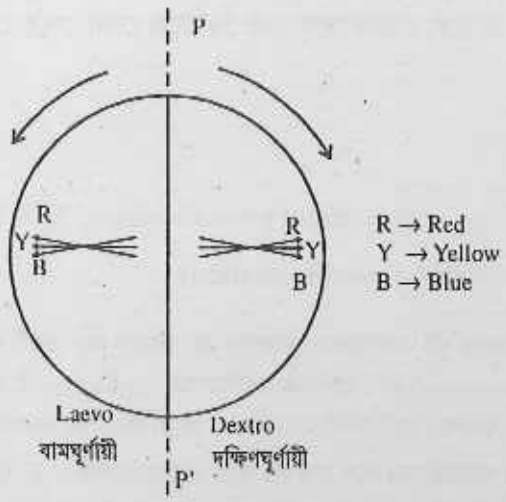
$\mu_L > \mu_R$ হলে বস্তুটি দক্ষিণ-ঘূর্ণায়ী হয়

$\mu_L < \mu_R$ হলে বস্তুটি হবে বাম-ঘূর্ণায়ী।

উদ্দেশ্য ঃ

বর্তমানে পোলারিমিতি এক প্রাগ্রসর শিল্পশৈলী (advanced technology) বিশেষ। সাম্প্রতিক কালে পোলারিমিটারে আলোকতড়িৎ কোশ ব্যবহার করে সূক্ষ্মতার মান $0.01°$ এবং $0.001°$ পর্যন্ত করা হয়েছে। বহুবর্ণী আলোক ব্যবহার করে স্পেক্ট্রোপোলারিমিটার বহুকাল আগেই উদ্ভাবিত হয়েছে। কেবলমাত্র শর্করা দ্রবণের গাঢ়ত্ব পরিমাপের জন্যই পোলারিমিটার ব্যবহৃত হয়ে আসছে দীর্ঘদিন ধরে—এদেরকে শর্করামাপী যন্ত্র (saccharimeter) বলা হয়। আমাদের এই পরীক্ষণে আমরা পোলারিমিটার যন্ত্রের মূল কার্যনীতি ও পরিমাপ ব্যবস্থার সাধারণ দিক নিয়ে আলোচনা করবো।

চিত্র **10.1b** : ধ্রুবণমাপী বা পোলারিমটার যন্ত্রের যন্ত্রসজ্জা



চিত্র **10.2** : বাইকোয়ার্টজ্

10.2 পোলারিমিটারের সাহায্যে চিনির দ্রবণের গাঢ়ত্ব ও আলোকীয় ঘূর্ণনের সম্পর্ক নির্ণয়

10.2.1 মূলগত তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি ঃ

সাধারণ পোলারিমিটারে দুটি রেখা ধ্রুবণী (linear polariser) ব্যবহৃত হয়। একটির সাহায্যে অধ্রুবিত (unpolarised) আলোকরশ্মি গুচ্ছকে ধ্রুবিত করা হয়, এটি প্রকৃতপক্ষেই ধ্রুবণীর (P) কাজ করে। অন্যটিকে আলোকরশ্মি সাপেক্ষে ঘোরানো হলে ধ্রুবিত আলোকের প্রাবল্য পরিবর্তন করে সম্পূর্ণ নির্বাপিত (extinguished) করা যায় ; সেজন্য এটিকে বলা হয় ধ্রুবণবিশ্লেষক বা সংক্ষেপে বিশ্লেষক (analyser, A)। সম্পূর্ণ নির্বাপনের কালে বিশ্লেষকের অবস্থানটি যথাযথ সূক্ষ্মতার সঙ্গে নির্ণয় করতে হলে প্রয়োজন হয়ে পড়ে অর্ধ আবরণ পাত (half-shade plate) বা বাইকোয়ার্টজ (biquartz)*, H ।

চিত্র 10.1-এ যে ধ্রুবণমাপী যন্ত্র (Polarimeter কথাটি বেশি ব্যবহৃত বলে আমরা এর পর 'পোলারিমিটার' বলেই উল্লেখ করবো) দেখানো হয়েছে সেখানে S একটি তীব্র আলোক উৎস। সোডিয়াম ল্যাম্প (অর্ধ আবরণ পাতের বেলায়), বাইকোয়ার্টজ-এর বেলায় সাদা আলোর ল্যাম্প ব্যবহার্য। S-এর সম্মুখে বৃত্তাকার ছিদ্র D-র ব্যাস প্রয়োজনে কমানো বা বাড়ানো চলে। L এই উত্তল লেন্স্-এর ফোকাস তলে D-কে রাখা হয় যাতে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ ধ্রুবণী P-তে আপাতিত হয় এবং এ থেকে যে আলোক নির্গত হবে সেটি P-র ধ্রুবণতলে রেখা ধ্রুবিত হবে। H একটি বাইকোয়ার্টজ (biquartz)।

আলোক নিষ্ক্রিয় (optically inactive) দ্রাবকে আলোক সক্রিয় (optically active) বস্তু দ্রবীভূত করে যে আলোক সক্রিয় দ্রবণ তৈরি করা হয় তার L cm দৈর্ঘ্য অতিক্রম করার পর $\overline{D}$-ভেক্টরের ধ্রুবণতল যদি ϕ কোণে ঘূর্ণিত হয় তাহলে পরীক্ষণলব্ধ ফল ভিত্তিতে দেখা গেছে যে,

$$\phi = |s|_{\lambda}^{\theta} \frac{L.m}{10} \qquad \ldots 10.1$$

এখানে অনুপাত স্থিরাংক $|s|_{\lambda}^{\theta}$ (constant of proportionality) হচ্ছে $\theta^{\circ}C$ উষ্ণতায় λ-তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলোকের ধ্রুবণ-ঘূর্ণনাংক (specific rotation),

---

*একই ব্যাসের, এবং একই বেধযুক্ত দুটি অর্ধবৃত্তাকার কোয়ার্টজ্ প্লেট্ নেওয়া হয়—একটি বামাবর্তনী (lacvo-rotatory) এবং অন্যটি দক্ষিণাবর্তনী (dextro-rotatory) এবং এদের আলোকীয় অক্ষ (optic axis) ঐ প্লেটের সমকোণে থাকে। অর্ধবৃত্তদুটি ব্যাস বরাবর যুক্ত করে একটি বৃত্তাকার প্লেট্ তৈরি হয় (চিত্র ঃ 10.2) যার বেধ সচরাচর 3.75 mm রাখা হয় একারণে যে সাধারণ সাদা আলোকের উৎস ব্যবহার করা হলে তার গড় হলুদ আলোকরশ্মিটির $\vec{E}$-ভেক্টরের কম্পনতল $\pi/2$ কোণে ঘুরে যায়—প্লেটের এক অর্ধাংশ বামাবর্তে, অন্য অর্ধাংশ দক্ষিণাবর্তে। ফলে হলুদ আলোর জন্য বাইকোয়ার্টজ্ হচ্ছে যেন দুটো $\lambda/4$ প্লেট্। T একটি কাচের চোঙাকৃতি নল, যাতে আলোক-সক্রিয় দ্রবণটি রাখা হয় এবং যার দুইপ্রান্ত কাচের প্লেট দ্বারা আবৃত। A হচ্ছে ধ্রুবণবিশ্লেষক (বস্তুর গঠন সাদৃশ্যে A এবং P অভিন্ন)। সর্বাধিক সুবেদী আভা হয় ফ্যাকাসে লাল (pink)।

L = দ্রবণে অতিক্রান্ত আলোক রশ্মির পথ দৈর্ঘ্য (cm-এককে)

m = 1 c.c. দ্রবণে আলোক সক্রিয় বস্তুর ভর (gm)

উপরের সূত্রে 10 ব্যবহৃত হয়েছে কেবল উল্লিখিত রাশিগুলি সুবিধাজনক মান প্রকাশের জন্য। আণবিক ঘূর্ণনের মান প্রকাশ করতে হলে,

$$\phi_M = \frac{M}{100}[s]^0_\lambda$$

এই সমীকরণটি ব্যবহৃত হয়। $[s]^0_\lambda$ -রাশিটিকে এভাবে সংজ্ঞাত করা চলে ঃ

এক ডেসিমিটার (10 cm) দীর্ঘ দ্রবণস্তম্ভের প্রতি c.c. দ্রবণে যদি আলোক-সক্রিয় বস্তুর 1 gm পদার্থ দ্রবীভূত হয়ে থাকে তাহলে ঐ দ্রবণস্তম্ভ দ্বারা $[s]^0_\lambda$ পরিমাণ ঘূর্ণন উৎপন্ন হবে।

বিভিন্ন গাঢ়ত্বের দ্রবণ নিয়ে যদি পরীক্ষণ সম্পন্ন হয় তবে ঘূর্ণনের মান ϕ-কে গাঢ়ত্ব m-র সঙ্গে লেখচিত্রিত করার পর যে ঋজুরেখ লেখ পাওয়া যাবে সেটাই হবে ধ্রুবণমাপী যন্ত্রের পাঠ মূল্যায়ন লেখ। লেখের নতি থেকে $[s]^0_\lambda$-এর মান নির্নীত হবে এবং যে কোনও অজ্ঞাত গাঢ়ত্বের দ্রবণমান যন্ত্রে বসিয়ে তার জন্য $\vec{D}$ ভেক্টরের ঘূর্ণন মেপে নিয়ে গাঢ়ত্ব পরিমাপ করা চলে।

ইক্ষুচিনি [sucross, $C_{12}H_{22}O_{11}$] ইক্ষুদণ্ড থেকেই নিষ্কাশিত হোক বা অন্য কোন ভাবেই প্রস্তুত হোক এটি সর্বদাই দক্ষিণাবর্তনী (dextro-ortatory); dextrosc চিনিও তাই।

ইক্ষুচিনির ধ্রুবণঘূর্ণনাংকের পরীক্ষণলব্ধ সূত্রটি এই

$$[S]^0_D \equiv [s]^0_{5893\,\mathring{A}} = [S]^{20^\circ C}_D - 0.0217(\theta - 20)$$

$$= +66^\circ.45 - 0.0217(\theta - 20) \text{ (দক্ষিণাবর্তনী)}$$

10.2.2 পরীক্ষণের কার্যক্রম ও ব্যবহার্য সূত্রাদি ঃ

(1) বাইকোয়ার্টজ যুক্ত যন্ত্র হলে সাদা আলোর উৎস যথাস্থানে সন্নিবেশিত করুন যাতে দৃষ্টিক্ষেত্র বেশ ভালোভাবে আলোকিত হয়। একটি উত্তল লেন্স ধারকের উপর সঠিক উচ্চতায় এবং সঠিক দূরত্বে বসান যাতে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ পোলারিমিটার নলের অভ্যন্তরে প্রবেশ করতে পারে। অর্ধ আবরণ পাতযুক্ত যন্ত্র হলে সোডিয়াম আলোর উৎস ব্যবহার করতে হবে।

(2) পোলারিমিটার নলটির দু-প্রান্তের ঢাকনা, ওয়াশার প্রভৃতি খুলে নিয়ে একটি ওয়াচ্-গ্লাসে রাখুন এবং নলটি ভাল করে ধুয়ে নিন। প্রথম ব্যবহারের জন্য প্রয়োজন হবে নাইট্রিক অ্যাসিড। কস্টিক সোডা এবং সর্বশেষে পরিস্রুত জল। এবার কাচের ঢাকনা প্রভৃতি আনুষঙ্গিক যন্ত্রাংশগুলি ভাল করে জল দিয়ে ধুয়ে নিন—একটি পরিষ্কৃত তুলোখণ্ড বা ফিল্টার কাগজ দিয়ে এগুলো ধরবেন। নলের একপ্রান্ত কাচপ্লেট, ওয়াশার প্রভৃতি দিয়ে বন্ধ করে পরিস্রুত জল দিয়ে নলটি ভর্তি করে নিন এবং অন্য প্রান্তটি সতর্কতার সঙ্গে বন্ধ করুন।

(3) পরিস্রুত জলে ভরা নলটি যথাস্থানে রেখে অভিনেত্রটি ফোকাস্ করুন যাতে দৃষ্টিক্ষেত্র-দ্বিখণ্ডক রেখাটি সুস্পষ্টভাবে দেখা যায়। ধ্রুবণী P-কে একটি সুবিধামত দিগংশে (azimuth) রাখুন। এবার বিশ্লেষক A-কে রশ্মি-অক্ষ সাপেক্ষে ঘোরান যতক্ষণ না দৃষ্টি-ক্ষেত্রের ঔজ্জ্বল্য সমান অবস্থায় আসে। সঠিক অবস্থা স্থির করার জন্য দৃষ্টিক্ষেত্রটি এই অবস্থানে লক্ষ্য করুন এবং বিশ্লেষক খুব ধীরগতিতে ঘোরান যতক্ষণ না দুটি অর্ধবৃত্তাকার অংশ সমান সমান আলোকিত দেখায়। বাইকোয়ার্টজ-এর ক্ষেত্রে দুই অংশে সর্বাধিক সুবেদী আভা (most sensitive tint) ফ্যাকাশে লাল (pink) আভা দেখতে পাবেন। বিশ্লেষকের পাঠ নিন ; এটিই শূন্য অবস্থানের পাঠ (ϕ_o)। এবার বিশ্লেষক 180° ঘুরিয়ে আবার পাঠ নিন।

(4) এবার চিনির দ্রবণ নিম্নোক্ত উপায়ে প্রস্তুত করে নিন।

প্রায় 20 গ্রাম মত চিনি (sucrose) একটি পূর্বে-ওজনকরা ওয়াচ গ্লাস বা ফিল্টার কাগজে ওজন করে নিন। একটি মাপক চোঙে পরিশ্রুত 85 c.c. জল নিন এবং তাতে সমস্ত চিনিটা ঢেলে দিয়ে নেড়ে নেড়ে দ্রবণ প্রস্তুত করুন। পুরো চিনি গলে যাওয়ার পর পরিশ্রুত জল যোগ করে দ্রবণের আয়তন 100 c.c. করে নিন। এটিই 20% দ্রবণ।

দ্রবণটি ফিল্টার করে নিন। পোলারিমিটার নল থেকে পরিশ্রুত জল ফেলে দিয়ে এই দ্রবণের সামান্য অংশ নলটিতে ঢেলে গা-ভেজা করে নিয়ে (rinse) সেটা ফেলে দিন। প্রয়োজনে দুতিনবার এমনি করবেন, যাতে সমস্ত নলের অভ্যন্তর-গাত্রের সংশ্লিষ্ট জল পরীক্ষণীয় দ্রবণ দ্বারা দূরীভূত হয়। এবার পোলারিমিটার নল এই দ্রবণে পূর্ণ করে, মুখ বন্ধ করে, নলটি যথাস্থানে রেখে দিন। নলের পাশে একটি থার্মোমিটার রেখে দিন ; মাঝে মাঝে এর পাঠ নিতে হবে।

(5) দৃষ্টিক্ষেত্র পূর্বে যে সমান আলোকিত ছিল এখন তা পরিবর্তিত হয়েছে এটা লক্ষ্য করুন। বিশ্লেষক ঘুরিয়ে নিন এবং পূর্বের মতো সমান আলোকিত অবস্থায় ফিরে আসুন। প্রকৃত অবস্থা স্থির করবেন দৃষ্টিক্ষেত্রের দুই অর্ধাংশের পারস্পরিক দীপ্তি তুলনা করে। যখন দীপ্তি দুই অর্ধাংশে সমান হবে তখনই বিশ্লেষকের পাঠ নেবেন এবং তারপর 180° ঘুরিয়ে আবার পাঠ নেবেন। (পোলারিমিটার নলটি সংস্থাপন করার অব্যবহিত পরে পাঠ না নিয়ে একটু সময় (ধরুন 10 মিনিট) অপেক্ষা করা ভাল। এতে দ্রবণের অস্বচ্ছতা অনেকটা কেটে যায় এবং উষ্ণতা-জনিত ঘনত্ব-বৈপরীত্য প্রভৃতি সুস্থিত অবস্থায় আসে এবং দৃষ্টিক্ষেত্রটি স্পষ্টতর হয়ে ওঠে)।

(6) দ্রবণের গাঢ়ত্ব পরিবর্তন করতে হলে ব্যবহৃত দ্রবণটির সঙ্গে উপযুক্ত পরিমাণে পরিস্রুত জল মেশাতে হবে। C_1 গাঢ়ত্বের দ্রবণ থেকে $C_2(<C_1)$ গাঢ়ত্বের দ্রবণ প্রস্তুত করতে হলে নিম্নোক্ত পদ্ধতিতে অগ্রসর হন। ধরুন C_1 গাঢ়ত্বের দ্রবণের আয়তন V_1 এবং C_2 গাঢ়ত্বে গিয়ে এর আয়তন হবে V_2; অতএব

$C_1V_1 = C_2V_2$ হওয়ায়

$$V_2 = \frac{C_1}{C_2} V_1$$

অর্থাৎ অতিরিক্ত জল যা মেশাতে হবে তার পরিমাণ

$$V = V_2 - V_1 = V_1\left(\frac{C_1}{C_2} - 1\right)$$

(7) বিভিন্ন গাঢ়ত্বের দ্রবণ নিয়ে পরীক্ষণ করুন। লেখ আঁকার জন্য অন্তত 5টি বিভিন্ন গাঢ়ত্বের দ্রবণ নেবেন।

(8) গাঢ়ত্ব এবং ঘূর্ণনের লেখ অংকিত করুন। একটি ভাল স্কেল নিয়ে নলের দৈর্ঘ্য মেপে নিন এবং তা থেকে দুপ্রান্তের কাচের ঢাকনার বেধ বিয়োগ করে নিন (এজন্য কাচখণ্ডের বেধ আগেই মাপা হলে ভাল হয়, কেননা তাহলে আর নলের অন্যান্য অংশ খুলতে হবে না)। লেখের নতি থেকে ধ্রুবণ ঘূর্ণাংক স্থির করুন। উষ্ণতাজনিত সংশোধন করে লব্ধ মানটি $[s]_D^{20°C}$-এর প্রমাণ মানের সঙ্গে তুলনা করুন।

(9) একই গাঢ়ত্বের দ্রবণ নিয়ে বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের একাধিক নলের ব্যবহার করেও এই পরীক্ষণ করা চলে।

10.2.3 পরীক্ষণ লব্ধ ফলাফল ঃ

সারণি 1 ঃ কৌণিক ভার্নিয়ারের স্থিরাংক নির্ণয় ঃ নিজে ছক কেটে নিন।

সারণি 2 ঃ নলের দৈর্ঘ্য পরিমাপ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বাম প্রান্তের পাঠ x cm	ডান প্রান্তের পাঠ y cm	অন্তর ফল (y–x) cm	2টি কাচখণ্ডের বেধ = Zcm	$l = (x-y)-Z$ cm
1.					
2.					
3.					
4.					

সারণি 3 ঃ ব্যবহৃত চিনির ভর ঃ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ওয়াচ গ্লাসের ভর W_1(gm)	চিনি সমেত ওয়াচ গ্লাসের ভর W_2(gm)	গৃহীত চিনির ভর $W = W_2 - W_1$ (gm)
1.	... + ... + ... + ... =	... + ... + ... + ... =	
2.			

সারণি 4 ঃ গাঢ়ত্ব পরিবর্তন ঃ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	V_1 c.c.	C_1/C_2-1	$V_1(C_1/C_2-1)$ cc.
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

সারণি 5 ঃ গাঢ়ত্ব-ঘূর্ণন-সংক্রান্তর উপাত্ত ঃ ভাঃ ধ্রুবাংক =

পঃ সংখ্যা	C (%) gm/c.c.	ϕ°					
		মূল স্কেল পাঠ ° ′ ″	ভার্নিয়ার পাঠ	ভার্নিয়ার পাঠের মান ° ′ ″	মোট পাঠ ° ′ ″	গড় পাঠ ° ′ ″	উষ্ণতা t°C
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							

10.3 সারাংশ

পোলারিমিটারে একটি ধ্রুবণীর সাহায্যে অধ্রুবিত আলোককে ধ্রুবিত করে আলোক-সক্রিয় দ্রবণের মধ্যে দিয়ে পাঠানো হয়। ধ্রুবণতলের ঘূর্ণন পরিমাপের জন্য একটি ধ্রুবণবিশ্লেষক ব্যবহার করা হয়। দ্রবণ ছাড়া ও দ্রবণ সমেত সুবেদী আভা পেতে বিশ্লেষককে যে কোণে ঘোরাতে হয়, সেটাই ধ্রুবণতলের ঘূর্ণনের পরিমাপক।

ঘূর্ণন $\phi = S\frac{L.m}{10}$

S = ধ্রুবণ ঘূর্ণনাংক

L = দ্রবণে অতিক্রান্ত রশ্মির পথ দৈর্ঘ্য (cm এককে)

m = 1 c. c. দ্রবণে আলোক সক্রিয় বস্তুর ভর (gm)

10.4 প্রশ্নাবলি

(i) আলোক সক্রিয়তা কাকে বলে ?

(ii) ধ্রুবন-ঘূনাংক কী ?

(iii) বামাবর্তনী ও দক্ষিণাবর্তনী আলোকসক্রিয় বস্তুর মধ্যে পার্থক্য কী ?

10.5 উত্তরমালা

(i) যে দ্রবণ বা মাধ্যমের মধ্যে ধ্রুবিত আলোক পাঠালে তার ধ্রুবণতলের ঘূর্ণন ঘটে, তাকে আলোক সক্রিয় বলা হয়।

(ii) এক ডেসিমিটার দীর্ঘ দ্রবণস্তম্ভের প্রতি c.c. দ্রবণে যদি আলোক সক্রিয় বস্তুর 1 gm পদার্থ দ্রবীভূত হয়, তাহলে ঐ দ্রবণ স্তম্ভ দ্বারা যে ঘূর্ণন উৎপন্ন হ'বে তাকে বলে ঐ বস্তুর ধ্রুবণ ঘূর্ণাংক।

(iii) আলোকসক্রিয় বস্তুর দুটি বিভাগ আছে : যারা ধ্রুবণতলটিকে বামাবর্তে (anticlockwise) ঘোরায় তাদের বলা হয় বামাবর্তনী (leavo-rotatory) এবং যারা ধ্রুবণতলকে দক্ষিণাবর্তে (clockwise) ঘোরায় তাদের বলা হয় দক্ষিণাবর্তনী (dextro-rotatory)।

একক 11 ❐ প্রিজ্‌ম্‌ স্পেকট্রোমিটারের সাহায্যে '$\delta-\lambda$' (বিচ্যুতি-তরঙ্গদৈর্ঘ্য) এবং '$\delta-1/\lambda^2$' লেখচিত্র অঙ্কন ও তা থেকে একটি বর্ণালি-রেখার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয়

গঠন

11.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য

11.2 মূলগত তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

11.2.1 পরীক্ষণের কার্যক্রম

11.2.2 পরীক্ষণলব্ধ ফল

11.3 পরিশিষ্ট A : স্পেকট্রোমিটার যন্ত্র ও তার বিভিন্ন অংশের ক্রিয়াকলাপ

11.4 পরিশিষ্ট B : প্রিজ্‌ম্‌ স্পেকট্রোমিটার ব্যবহারের পূর্বে করণীয় বিভিন্ন সমন্নয়ণ

11.5 পরিশিষ্ট C : শুস্টার পদ্ধতির তাত্ত্বিক আলোচনা

11.6 প্রশ্নাবলি

11.1 প্রস্তাবনা

সাধারণ প্রিজ্‌মে একবর্ণী আলোকরশ্মি আপতিত হলে এটি প্রিজমের দুই পৃষ্ঠতলে দুবার প্রতিসৃত হয়ে থাকে এবং এর ফলে আপতিত রশ্মির গতিপথ থেকে নির্গত রশ্মির গতিপথে δ পরিমাণ বিচ্যুতি ঘটে থাকে। প্রথম পৃষ্ঠতলে রশ্মির বিচ্যুতি $\delta_1 = i_1 - r_1 \ldots (1)$ এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠতলে $\delta_2 = i_2 - r_2 \ldots (2)$ এবং মোট বিচ্যুতি $\delta = \delta_1 + \delta_2 = i_1 + i_2 - (r_1 + r_2) = i_1 + i_2 - A \ldots (3)$

এই সূত্রে i_1 = প্রথম পৃষ্ঠতলের আপতন কোণ।

i_2 = দ্বিতীয় পৃষ্ঠতলের নির্গমন কোণ।

এবং A = প্রিজ্‌ম্‌ কোণ।

নির্গমন কোণ i_2 যেহেতু i_1-এর অপেক্ষক, কাজেই δ-কে আমরা i_1-এর অপেক্ষক হিসাবে ভাবতে পারি (A জ্যামিতিক ধ্রুবক)। i_2-কোণটি প্রতিসরণ সূত্রের মাধ্যমে i_1-এর সঙ্গে যুক্ত বলে প্রিজ্‌মের প্রতিসরাঙ্ক μ-এতে জটিলভাবে রয়ে গেছে। আলোকরশ্মির বিচ্যুতি δ, অতএব, ঘনিষ্ঠভাবে প্রিজ্‌ম্‌ উপাদানের μ-এর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট। বহুবর্ণী আলোকে যে বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মিশ্রণ থাকে তারা ঐ উৎসের পরমাণুগত

বৈশিষ্ট্যের স্বাক্ষর বহন করে নিয়ে আসে। প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়ে পাঠালে এই বহুবর্ণী আলোকরশ্মির প্রারম্ভিক আপতনের পথ একটি নির্দিষ্ট করে দেওয়া যায় বটে, কিন্তু প্রিজ্‌ম্‌ থেকে নির্গত হওয়ার পর বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের পথগুলি অতি সুনির্দিষ্ট। আলোকের λ-এর মানের উপর এদের প্রারম্ভিক পথ থেকে বিচ্যুতির মান সুনির্দিষ্টভাবে নির্ভরশীল। কাজেই বাইরে থেকে δ-এর বিভিন্ন মান মেপে নিয়ে δ–λ সম্পর্কটির একটি লেখ রূপ দেওয়া যায়। একটি নির্দিষ্ট প্রিজ্‌মের ক্ষেত্রে এই লৈখিক সম্পর্ক এতই সুনির্দিষ্ট যে কোনও অজ্ঞাতমানের তরঙ্গ এই প্রিজমে প্রতিসৃত হলে তার বিচ্যুতি মেপে লেখ থেকে আমরা তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য সনাক্ত করতে পারবো। পরীক্ষণগত অভিজ্ঞতা থেকে দেখা গেছে $\left(\delta - \frac{1}{\lambda^2}\right)$ লেখ আঁকা হলে সেটির বক্রতা কম, অর্থাৎ প্রায় ঋজুরেখ। এজন্যই বর্ণালির বিচ্ছুরণ (dispersion) অধ্যয়নে এই বক্রদুটির উপযোগিতা।

উদ্দেশ্য

আমরা এই পরীক্ষণে স্পেকট্রোমিটার* যন্ত্রের সঙ্গে পরিচিত হব। এই যুগপ্রাচীন যন্ত্রটি (classical instrument) আজ অবধি কেবল মূলগত গবেষণার কাজেই নয়, বিভিন্ন শৈল্পিক পরীক্ষণাগারে, সামরিক যন্ত্রব্যবস্থায়, মহাকাশ-গবেষণার যন্ত্রাগারে, এবং অন্যত্রও বহু পরীক্ষণেই ব্যবহৃত হয়। যদিও যুগের সাথে তাল রেখে যন্ত্রায়ণ হয়েছে সমুন্নত ও যথেষ্ট কলাকুশল-মণ্ডিত তবুও মৌলিক দিক থেকে দেখলে এর যন্ত্রায়ণের কাঠামো একই রয়েছে। ফলে এখনও ছাত্র-গবেষকের শিক্ষণ কেন্দ্রে এর উপস্থিতি অপরিহার্য।

একটি প্রিজ্‌ম্‌ কীভাবে বর্ণালি সৃষ্টি করে তার একটা অস্পষ্ট ধারণা আমাদের আগেই হয়েছে। এবার নিজের অভিজ্ঞতায় সেই বর্ণালির পরিমাপ কিভাবে করতে হয় এই পরীক্ষণে আমরা তাই দেখবো।

আলোকের দুরকম উৎস আমরা ব্যবহার করব—একটি সোডিয়াম বাষ্প ল্যাম্প, অন্যটি মোক্ষণ নল (discharge tube)। বিভিন্ন মোক্ষণ নলে স্বল্প চাপে নানাবিধ গ্যাস ভরে নিয়ে যখন তাদের তড়িতীয়ভাবে উত্তেজিত করা হয়, তখন পরমাণুবর্ণালিই সাধারণত সৃষ্টি হয়। (মোক্ষণ নলের উত্তেজনার হেরফের হলে অণু-জাত বর্ণালি যা পটির আকারে দৃশ্যমান হয় তাও কদাচিৎ পাওয়া যায়।) পরমাণুবর্ণালির প্রকৃতিই এই যে তরঙ্গদৈর্ঘ্যগুলি হয় 'বিচ্ছিন্ন' মানের—কেননা এদের সৃষ্টি হয় যখন উত্তেজিত পরমাণুটি একটি নির্দিষ্ট কিন্তু বিচ্ছিন্ন শক্তিস্তর থেকে আর একটি নির্দিষ্ট বিচ্ছিন্ন কম শক্তিস্তরে অবতরণ করে—এই শক্তি পার্থক্যের সঙ্গেই উৎপন্ন λ-র সম্পর্ক নিবিড়ভাবে জড়িত। শক্তিবিনিময়ের পরিমাণের বেশির ভাগ অংশই দৃশ্যমান আলোকে (visible light) পর্যবসিত হয়ে থাকে।

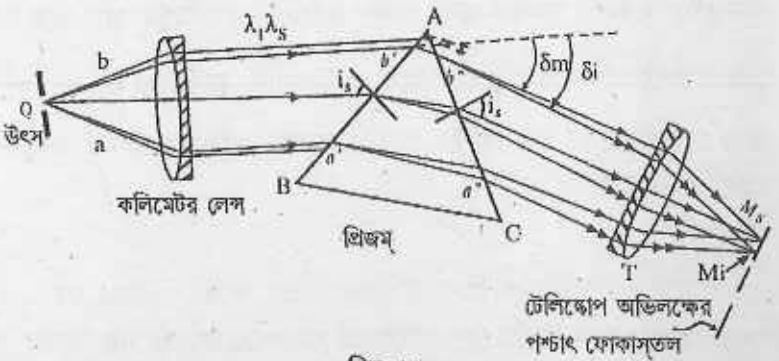
বর্ণালি বীক্ষণের প্রথম পদক্ষেপ হিসাবে প্রিজম্‌-স্পেকট্রোমিটার দ্বারা তরঙ্গদৈর্ঘ্য নিরূপণ বেশ সহজ। তবে পরিমাপের সূক্ষ্মতার নিরিখে দেখলে গ্রেটিং বর্ণালি অনেক উন্নত। পরে গ্রেটিং বর্ণালি অধ্যয়ন শেষ হলে আমরা দুই পদ্ধতির তুলনামূলক আলোচনা করব।

---

*সচরাচর স্পেকট্রোমিটার (Spectrometer) বলে উল্লিখিত যন্ত্রটি মূলত একটি স্পেকট্রোস্কোপ্‌ (Spectroscope), কেননা এ যন্ত্রে চোখের সাহায্যে বর্ণালি রেখা দেখা হয়ে থাকে। বর্ণালি সংবেদক যন্ত্র এখানে মানবিক চোখ। বর্ণালি সংবেদক যন্ত্র তড়িতীয় (electrical) হলে তবেই এটিকে স্পেকট্রোমিটার বলা সঙ্গত। বর্ণালি সংবেদনে যদি তাপযুগ্ম (Thermo couple) বা আলোক-তড়িতীয় পৃষ্ঠতল (photo cell) ব্যবহৃত হয় তবেই এটি হবে স্পেকট্রোমিটার।

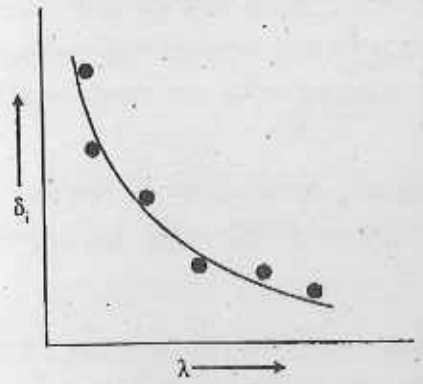
11.2 মূলগত তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

একটি কাচের প্রিজ্‌মের প্রধান ছেদ CAB এবং ঐ ছেদের সমতলে প্রতিসৃত কয়েকটি রশ্মি চিত্র 11a-তে দেখানো হয়েছে। এই সমতলে অবস্থিত রেখাছিদ্রের কোনোও বিন্দু σ থেকে যে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ $\overline{\sigma a}$ এবং $\overline{\sigma b}$ নির্গত হয়েছে সেগুলি কলিমেটর (collimator)-এর সাহায্যে সমান্তরাল করে নিয়ে প্রিজমের প্রথম প্রতিসারক সমতলে (AB) আপতিত করা হলো—প্রিজমের মধ্যে এদের গতিপথ যথাক্রমে $\overline{a'a''}$ এবং $\overline{b'b''}$। ধরা যাক, আপতন কোণের মান i_s নেওয়া হল যাতে কোনও প্রমাণ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_s-এর আলোকরশ্মি এই প্রিজ্‌মে প্রতিসৃত হওয়ার পর সেটির বিচ্যুতি অবম মানের হয়। λ_s তরঙ্গের জন্য অবম বিচ্যুতির মান δ_{ms} ধরা যাক। প্রিজ্‌মের দ্বিতীয় প্রতিসারক সমতল থেকে λ_s-তরঙ্গের আলোক যে নির্গমন কোণে নির্গত হবে, তার মানও হবে i_s। ধরা যাক উৎস থেকে বিভিন্ন বিচ্ছিন্ন মানের তরঙ্গ (যা পরমাণু-উৎস থেকে উৎপন্ন হয়) $\lambda_1, \lambda_2, \ldots \lambda_s, \ldots, \lambda_n$; এগুলি প্রিজ্‌মে প্রতিসৃত হওয়ার পর তাদের বিচ্যুতি কোণগুলির মান যথাক্রমে হবে $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_s, \ldots, \delta_n$।



চিত্র 11.a

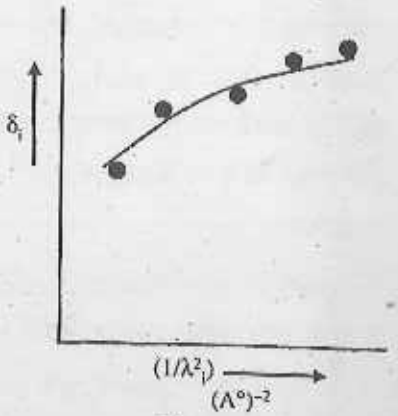
এই তরঙ্গগুলির অবম বিচ্যুতির মানগুলি যদি $\delta_{m1}, \delta_{m2}, \ldots, \delta_{ms}, \ldots \delta_{mn}$ দিয়ে সূচিত হয় তাহলে একমাত্র λ_s ছাড়া অন্যগুলির মান δ_k-র মান থেকে পৃথক হবে। অর্থাৎ প্রমাণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য প্রিজ্‌মটি যদি অবম বিচ্যুতির মানে বসানো হয়—এটিকে এই স্পেকট্রোমিটার ব্যবহার কালে আমরা প্রিজমের একটি সুনির্দিষ্ট অবস্থান বলে ধরে নেব, যার সাপেক্ষে অন্যান্য অবম বিচ্যুতিগুলি অর্থাৎ δ_1, δ_2 ... (ধরি) পাওয়া যাবে। টেলিস্কোপের অভিলক্ষ্যের পশ্চাৎ-ফোকাস্‌তলে বিভিন্ন λ_k-র জন্য σ-বিন্দুটির বিভিন্ন বাস্তব প্রতিবিম্ব $M_1, M_2, \ldots M_s \ldots M_k$ উৎপন্ন হবে। অতএব, σ-গামী রেখাছিদ্রের অন্যান্য উজ্জ্বল বিন্দুগুলি প্রতিবিম্বিত হবে বিভিন্ন হ্রস্ব, উজ্জ্বল, সরলরেখায় যাদের কেন্দ্রবিন্দু হবে $M_1, M_2, \ldots M_k$। এই যে রৈখিক বর্ণালি পাওয়া গেল তাদের প্রত্যেক রেখার কৌণিক অবস্থান যদি টেলিস্কোপ ঘুরিয়ে এবং ঠিক স্থানে ক্রস-তার স্থাপন করে পরিমাপ করা হয় তাহলে ঐগুলি হবে $\delta_1, \delta_2, \ldots,$



চিত্র 11.b

δ_n এর পরীক্ষণলব্ধ মান। এবার একটি লেখ কাগজে $(\delta_1, \lambda_1), (\delta_2, \lambda_2), ..., (\delta_n, \lambda_n)$ বিন্দুগুলি সংস্থাপিত করা হলে যদি ঐ বিন্দুগুলির অভ্যন্তর দিয়ে একটি সন্তত, মসৃণ বক্ররেখা আঁকা হয় তাহলে এভাবে যে δ–λ লেখ পাওয়া যাবে সেটিই হবে এই স্পেকট্রোমিটার-প্রিজ্‌মের ক্রমাংকন রেখা (calibration curve); এখানে প্রিজ্‌ম্‌টি ব্যবহৃত হবে λ_s তরঙ্গের δ_{ms} এই অবম বিচ্যুতির মানে। এই ক্রমাংকন বক্রটি ব্যবহার করে অন্য যে কোনও উৎসের অংশ রৈখিক বর্ণালির প্রতিটি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্দেশ করা যাবে যদি তাদের বিচ্যুতির মানগুলি মেপে নেওয়া হয়।

কার্যত দেখা যায় δ–λ বক্রের বক্রতা (চিত্র 11-b) বিভিন্ন অংশে পৃথক মানের। এও দেখা গেছে যে δ–λ বক্র না এঁকে যদি $\left[\delta - \left(1/\lambda^2\right)\right]$ বক্র চিহ্ন (চিত্র 11.c) আঁকা হয় তাহলে সেটি হয় প্রায় ঋজুরেখ। সে কারণে আমরা প্রাথমিক উপাত্ত থেকে লব্ধ δ–λ বক্র এঁকে তার থেকে $\delta - 1/\lambda^2$ বক্রটিকে এঁকো নেবো যাতে ব্যবহারকালে ঋজুরেখ লেখ এর সুবিধাগুলি পাওয়া যায়।



চিত্র 11.c

কোনও বর্ণালি রেখার λ এর মান অজ্ঞাত হলে সেটা এই লেখ-পদ্ধতি আশ্রয় করে নিরুপণ করা যায়। শুধু বিকিরণ বর্ণালিই নয়, শোষণ বর্ণালির ক্ষেত্রেও এটি প্রযোজ্য—অর্থাৎ কোনও তরল বা বায়বীয় মাধ্যমের অভ্যন্তর দিয়ে সাদা আলো পাঠানো হলে যদি বস্তুটি তা থেকে এক বা একাধিক λ মানের তরঙ্গ শোষণ করে তাহলে প্রিজ্‌ম্‌-প্রতিসৃত বর্ণালির উজ্জ্বল পটিতে সেই তরঙ্গ কালো অর্থাৎ বর্ণহীন শোষণ রেখার (absorption line) আকারে তার অনুপস্থিত দেখাবে।

ব্যবহৃত যন্ত্রপাতিঃ (1) একটি সাধারণ স্পেকট্রোমিটার, (2) একটি সোডিয়াম বাষ্প ল্যাম্প, (3) একটি হিলিয়াম মোক্ষণ নল ও তৎসংলগ্ন উচ্চবিভব-সরবরাহের যন্ত্রায়ণ, (4) কাচের প্রিজ্‌ম্‌, (5) স্পিরিট লেভেল ও (6) টেবল্‌ ল্যাম্প, লেখ কাগজ প্রভৃতি।

11.2.1 পরীক্ষণের কার্যক্রম

1. প্রথমে সোডিয়াম বাষ্প ল্যাম্পের সুইচ্‌ অন করে নিন। সোডিয়াম ল্যাম্প এবং স্পেকট্রোমিটারের রেখাছিদ্রের মাঝে বেশ কিছুটা ফাঁক রাখা প্রয়োজন—ধরা যাক 5 বা 6 সেমি—যাতে পরবর্তী পর্যায়ে হিলিয়াম-এর মোক্ষণ নল ব্যবহারের সময় বাষ্পল্যাম্প বা রেখাছিদ্র—এদের সরাতে না হয়।

2. ল্যাম্প পুরোপুরি প্রজ্জ্বলিত হতে কিছু সময় লাগে। এই অবসরে স্পেকট্রোমিটারের বিভিন্ন অংশগুলি পৃথকভাবে স্পিরিট লেভেলের সাহায্যে অনুভূমিক* (horizontal) করে নিন।

*স্পেকট্রোমিটার যন্ত্রের সংক্ষিপ্ত পরিচয় ও এর বিভিন্ন অংশের ক্রিয়াকলাপ পরিশিষ্ট—A-তে লেখা হল।

3. কৌণিক ভার্ণিয়ারের ধ্রুবাংক সারণী-বদ্ধ আকারে লিখে নিন।

4. রেখাছিদ্র এতক্ষণে হলুদ রঙের আলোয় আলোকিত হয়েছে। রেখাছিদ্রের বেধ প্রথম দিকে একটু বেশি রাখা ভালো। কলিমেটর লেন্স-এর দিক থেকে খালি চোখে তাকালে উল্লম্ব, আয়তাকার ও উজ্জ্বল রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব দেখা যাবে—যদি না যায় তাহলে কলিমেটর নলটি সোডিয়াম বাষ্পের আলোকিত একটি বাহুর দিকে ঘুরিয়ে নিতে হবে যাতে ঐ বাহু এবং রেখাছিদ্রের মধ্যরেখা নলাক্ষের উপর পড়ে। এবার টেলিস্কোপ-অক্ষটি ঘুরিয়ে এনে কলিমেটর নলাক্ষের সঙ্গে সমরেখ করতে হবে—তাহলেই অভিনেত্রের (eye-piece) এর মধ্য দিয়ে তাকালে রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব (আয়তাকার যার বেধ, দৈর্ঘ্যের তুলনায় অনেক কম) দেখা যাবে। অভিনেত্রটি অক্ষ বরাবর এগিয়ে বা পিছিয়ে নিন যাতে ক্রস্‌তারটির প্রতিবিম্ব স্পষ্ট হয়ে দৃষ্টিক্ষেত্রে (field of view) দেখা যায়। এ অবস্থায় সাধারণত রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব এবং ক্রস্‌তারের প্রতিবিম্ব একই সমতলে থাকে না। দৃষ্টিরেখার সমকোণে চোখ ডাইনে বা বাঁয়ে লম্বন (parallax) থেকে এটি বোঝা যাবে। অভিনেত্র সামনে পিছনে করে ক্রস্‌তার ও রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বের মধ্যে লম্বন অপনয়ন করে নিন।

5. শুস্টার-পদ্ধতিতে (Schuster's Method) এবার কলিমেটর ও টেলিস্কোপ সমান্তরাল রশ্মির জন্য ফোকাস করে নিতে হবে (পরিশিষ্ট B-এ এ বিষয়ে বলা হয়েছে, পড়ে নিন এবং কার্যত প্রয়োগ করুন)।

6. রশ্মিগুচ্ছ সমান্তরাল হয়ে গেলে—(i) রেখাছিদ্রের পরিসীমার অন্তর্ভুক্ত আলোকিত আয়তক্ষেত্রের সীমারেখা স্পষ্ট হয়ে দেখা দেবে। রেখাছিদ্রের কিনারায় ধূলিকণা থাকলে সেগুলি কালো বিন্দুর আকারে দৃশ্যমান হবে। অর্থাৎ আলোকিত অংশ ও অনালোকিত (বা স্বল্প-আলোকিত) অংশের বিভাজন রেখাটি অতি স্পষ্ট হয়ে দেখা দেবে। (ii) ক্রস্‌তারের প্রতিবিম্ব এবং রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব এদের মধ্যে লম্বন ত্রুটি আগেই দূর করেছেন অর্থাৎ এরা একই সমতলে আছে। (iii) টেলিস্কোপ-অক্ষ একটু ডানে বা বাঁয়ে ঘুরিয়ে রাখুন। একটি কাগজে আলোকরশ্মির প্রস্থচ্ছেদ লক্ষ্য করুন। সমান্তরীকরকের গা থেকে কাগজ ক্রমশ দূরে সরিয়ে নিলেও এই প্রস্থচ্ছেদের বৃত্তাকার আলোকিত অংশের ব্যাস একটুও কমবে না। (যদি বাড়ে বা কমে তাহলে নির্গত রশ্মিগুচ্ছ অপসারী বা অভিসারী। শুস্টার প্রক্রিয়া ঠিকমতো অনুসৃত হয় নি, এটির পুনরাবৃত্তি করতে হবে।)

7. রেখাছিদ্রের বেধ যথাসম্ভব কমিয়ে নিন। এবার প্রিজ্‌মটিকে প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌লে এমনভাবে বসান যাতে এটির ভূমিতলের কেন্দ্রবিন্দুটি (অর্থাৎ ত্রিভুজের মধ্যমা—60° প্রিজ্‌মের ক্ষেত্রে) প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌লের মোটামুটি মাঝখানে থাকে। এই অবস্থান স্থির করার জন্য প্রিজ্‌ম্‌ টেব্‌লের পৃষ্ঠতলে কয়েকটি সমাক্ষ-বৃত্ত আঁকা থাকে এবং একটি কেন্দ্রগামী রেখা ও তা থেকে সমদূরবর্তী কয়েকটি সমান্তরাল রেখা দাগ কাটা থাকে। এগুলির সাহায্য নিন। প্রিজ্‌ম্‌-কিনারাগুলি যে কোনও বৃত্তের পরিধি থেকে প্রায় সমান দূরত্বে অবস্থান করছে কি না দেখুন।

প্রিজমের প্রতিসারক কিনারাটি (refracting egde—যা অস্বচ্ছ তলটির বিপরীতে থাকে) আপনার

দিকে কিছুটা ঘুরিয়ে নিন যাতে কমিমেটর লেন্স থেকে আগত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রিজ্‌মের প্রথম প্রতিসারক তল (AB-গামী সমতল যা চিত্রের তলের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত (চিত্র 11-a দ্রঃ) AB-তে এসে পড়ে। দ্বিতীয় প্রতিসারক তল AC-র দিক থেকে খালি চোখে তাকান ; হয়ত দেখবেন রেখাছিদ্রের বৃত্তাকার সীমারেখা ও তার-অন্তর্ভুক্ত উজ্জ্বল রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব (এটি প্রিজমের অপর পাশে সৃষ্ট অলীক প্রতিবিম্ব), যদি সেরকম কিছু না দেখেন তাহলে প্রিজ্‌ম্-টেব্‌ল একটু একটু করে (হাত ব্যবহার করে) ঘুরিয়ে যান। এই ঘূর্ণনের সময় প্রতিসারক কিনারাটি হয়তো আপনার কাছে আসতে পারে। যদি কিছু না দেখা-যায় ধীরে ধীরে বিপরীতমুখে ঘোরান যাতে কিনারাটি আপনার দিক থেকে দূরে চলে যায়। এবার একটা অবস্থানে রেখাছিদ্রের আলোকিত প্রতিবিম্ব (প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়ে তাকিয়ে) দৃশ্যমান হবে। প্রিজ্‌ম্ ও আপনার চোখের দূরত্ব বাড়িয়ে নিয়ে প্রতিবিম্বটি দেখুন—প্রিজ্‌ম্-অবস্থান স্ক্রু এঁটে স্থির করে দিন এবং টেলিস্কোপ ঘুরিয়ে এনে প্রিজ্‌ম্ ও আপনার চোখের মাঝে বসান যাতে টেলিস্কোপের দৃষ্টিক্ষেত্রে প্রতিবিম্বটি দেখা যায়।

৪. প্রিজ্‌ম্‌টিকে সোডিয়াম আলোর অবম বিচ্যুতির অবস্থানে স্থাপন ঃ

[লক্ষ্য করে দেখুন রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব একটি না দুটি। যদি দুটি হয়ে থাকে তাহলে প্রিজ্‌মের প্রতিসারক ক্ষমতা এত বেশি যে $D_1(\lambda = 5895.92\text{Å})$ এবং $D_2(\lambda' = 5889.95\text{Å})$ দুটি রেখাই পাওয়া যাচ্ছে। সেক্ষেত্রে যেকোনও একটি রেখা ব্যবহার্য। আমরা ধরে নিলাম যে রেখা একটি ; তাহলে গড় তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\bar{\lambda}_D = \frac{1}{2}(\lambda + \lambda')$] টেলিস্কোপের অবস্থান দৃঢ় করে রাখুন। এবার প্রিজ্‌ম্-টেব্‌ল একটু একটু করে ঘোরান (হাত দিয়ে নয়, ট্যান্‌জেন্ট স্ক্রু দিয়ে) যতক্ষণ না প্রতিবিম্বটি অবম বিচ্যুতির অবস্থানে আসে। প্রতিবিম্ব যদি দৃষ্টিক্ষেত্রের বাইরে চলে যায়, তাহলে বিপরীত দিকে ঘোরান। যদি এবারও দৃষ্টিক্ষেত্রের বাইরে চলে যায় তাহলে বুঝতে হবে দৃষ্টিকোণের মধ্যে অবম অবস্থানটি নেই। এক্ষেত্রে করণীয় এই ঃ (i) প্রথমে প্রিজ্‌ম্ টেবল্ গতিরুদ্ধ করুন। (ii) টেলিস্কোপ মুক্ত করে সরিয়ে নিন। (iii) খালি চোখে প্রতিবিম্ব দেখুন। (iv) প্রিজ্‌ম্-টেবল্ শিথিল করে নিয়ে হাতে ঘোরান—ডাইনে কিংবা বাঁয়ে। (v) প্রতিবিম্বের গতি লক্ষ্য করুন। (vi) দেখবেন প্রিজ্‌ম্ ঘোরানোর সাথে প্রতিবিম্ব ডাইনে বা বাঁয়ে সরে গিয়ে একটা অবস্থান থেকে ফিরে আসছে। (vii) এই প্রত্যাবর্তনের অবস্থানটি যখন পাওয়া গেল তখন প্রিজ্‌ম-টেবল আটকে দিন। টেলিস্কোপ ঘুরিয়ে নিয়ে এসে প্রতিবিম্ব দেখুন। (viii) এবার প্রতিবিম্বটি দৃষ্টিক্ষেত্রে এমনভাবে স্থাপন করুন যাতে ক্রস্‌তারের কেন্দ্র ও বৃত্তের পরিধির মাঝামাঝি এটি থাকে। (ix) টেলিস্কোপ আটকে দিন এবং প্রিজ্‌ম্-টেব্‌লের ট্যান্‌জেন্ট স্ক্রু ঘোরান যতক্ষণ না অবম বিচ্যুতির অবস্থান সঠিক ভাবে পাওয়া যায়। সঠিক অবস্থানে হয়েছে কি না বোঝার উপায় কী ? ট্যান্‌জেন্ট স্ক্রু সামান্য ঘোরানো হলেও প্রতিবিম্ব নড়বে না। একটু বেশি বা কম ঘোরানো হলেই ঐ অবস্থান থেকে সরে আসবে। প্রিজ্‌ম্-টেব্‌লটি এবার প্রিজ্‌মের অবম বিচ্যুতি অবস্থানে স্থির করে দিন।

9. এবার কোনও মোক্ষণ নল (যথা H_2, He, Hg...) নিয়ে উল্লম্বভাবে বসিয়ে রেখাছিদ্রের সমান্তরাল

করে যতটা সম্ভব এটির কাছাকাছি রাখতে হবে। নলের ধাতব প্রান্তদুটি উচ্চবিভব উৎসের পজিটিভ ও নেগেটিভ তড়িদ্দ্বারের সঙ্গে অন্তরক-আবৃত তার দিয়ে সংযুক্ত করতে হবে*। এবার ট্রান্সফর্মারটি চালিয়ে দিলে মোক্ষণজাত আলো নির্গত হবে।

10. বিভিন্ন বর্ণালি রেখাগুলি টেলিস্কোপ ঘুরিয়ে প্রথমে দেখে নিতে হবে। এরপর ক্রস্‌তারের সংযোগস্থল একপ্রান্তের রেখায় (ধরা যাক λ_1) সংস্থাপন করে টেলিস্কোপের পাঠ নিতে হবে। রেখার রঙ ও আনুমানিক ঔজ্জ্বল্য লিখে রাখুন। টেলিস্কোপের ট্যান্‌জেন্ট-স্ক্রু খুব সন্তর্পণে ঘুরিয়ে একের পর এক বর্ণালি রেখায় স্থাপন করুন এবং ভার্নিয়ার পাঠ নিন। সর্বশেষ রেখার (λ_6 ধরা যাক) পাঠ নেওয়া হলে, ঐ ক্রমেই ট্যান্‌জেন্ট স্ক্রু ঘুরিয়ে নিন এবং পরে বিপরীতক্রমে ঘুরিয়ে $\lambda_6, \lambda_5, .., \lambda_1$। এই পর্যায়ের পাঠগুলি নিন। এভাবে সব রেখাগুলির জন্য পাঠের গড় ধরা যাক $\bar{\theta}_1$, $\bar{\theta}_2$, ...; $\bar{\theta}_6$; এবার প্রিজমটেরলের ভূমি (base) স্থির রেখে টেব্‌ল থেকে প্রিজ্‌ম্‌ তুলে নিন। স্ক্রুর সাহায্যে টেলিস্কোপ শিথিল করে, কলিমেটরের সমাক্ষ অবস্থানে নিয়ে আসুন। টেলিস্কোপের ক্রসতারের ছেদবিন্দুকে রেখাচিত্রের মধ্যবিন্দুতে আনুন। প্রয়োজনে স্ক্রুর সাহায্যে টেলিস্কোপ আটকে রেখে ট্যানজেন্ট স্ক্রুর সাহায্য নিন। এই অবস্থানের পাঠ লিপিপদ্ধ করুন। এটই হল টেলিস্কোপের সমাক্ষ পাঠ। দুটি ভানিয়ারের পাঠ ধরি $0'_0$ ও $0''_0$। বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোর জন্য প্রতিসৃত রশ্মির পাঠ থেকে সমাক্ষ পাঠ বিয়োগ করলে (কৌণিক) বিচ্যুতিগুলি পাওয়া যাবে। বিচ্যুতিগুলি হবে যথাক্রমে $\delta_1 = \bar{\theta}_1 \sim \bar{\theta}_0, \delta_2 = \bar{\theta}_2 \sim \bar{\theta}_1, ...$ (লক্ষ্য রাখবেন 0° দাগ বা 360° দাগ কোনও মধ্যবর্তী মানে রয়েছে কি না। সেক্ষেত্রে পাঠের বিয়োগ-ক্রিয়াটি একটু আলাদা হবে—কী হবে নিজেই বিভাজন দেখে স্থির করে নিন)।

11. এবার মিলিমিটার-দৈর্ঘ্যে বিভাজিত লেখ-কাগজে δ-λ এবং $\delta - 1/\lambda^2$ লেখ আঁকতে হবে। সংস্থাপিত বিন্দুগুলির অভ্যন্তর দিয়ে হস্তাঙ্কিত একটি মসৃণ (smooth) সন্তত রেখা (continuous line) [যার বেধ সর্বত্র সমান হবে] এঁকে নিন। লক্ষ্য করে দেখুন δ–λ লেখটির বক্রতা বেশি, $d - 1/2$ বক্রটি অপেক্ষাকৃত কম বক্রতাবিশিষ্ট, এমনকি প্রায় ঋজুরেখ হতে পারে (চিত্র 11c দ্রঃ)।

12. লেখ থেকে অজ্ঞাতমানের λ নির্ণয় করতে হলে উৎসটি বসাতে হবে রেখাছিদ্রকে ঐ λ দিয়ে আলোকিত করবার জন্য। এবার λ-র জন্য বিচ্যুতি δ পরিমাপ করতে হবে।

---

* ভালভাবে অন্তরিত দুগাছা তার নিয়ে তাদের একপ্রান্তে এক একটি করে দুটি কুমীর-ক্লিপ্‌ (crocodile clip) লাগিয়ে নিন ; কুমীর-ক্লিপগুলির ধাতব অংশ যাতে পরে হাতে বা অন্যত্র স্পর্শ না হয় সতর্ক হবেন, কেননা এগুলি পরে উচ্চবিভবগ্রস্ত হবে। কুমীর-ক্লিপ্‌ দিয়ে মোক্ষণনলে সংযোগ করা সুবিধাজনক, কেননা এতে স্ফুলিঙ্গন (sparking) হওয়ার সম্ভাবনা কম।

11.2.2 পরীক্ষণলব্ধ ফল

সারণি 1

ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক নির্ণয় (একটি নমুনা দেখানো হলো)

মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগ $= 10'$

60 ভার্নিয়ার ঘর $= 59$ মূল স্কেল ঘর

$\therefore$ 1 ভার্নিয়ার ঘর $= \frac{59}{60}$ মূল স্কেল ঘর

ভার্নিয়ার ধ্রুবাঙ্ক $\equiv \varepsilon = 1$ মূঃ স্কেঃ ঘর $- 1$ ভাঃ স্কেঃ ঘর

$$= \left(1 - \frac{59}{60}\right) \text{ মূল স্কেঃ ঘর}$$

$$= \left(\frac{1}{60}\right) \times 10' = 10''$$

বিঃ দ্রঃ ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক $30''$, $20''$ বা $1'$ ও হতে পারে।

সারণি 2

$\lambda_k - \theta_k$-র সারণি ; হিলিয়াম মোক্ষণ নল ব্যবহৃত

বর্ণালি রেখার বৈশিষ্ট্য রঙ, উজ্জ্বলা প্রভৃতি	তরঙ্গদৈর্ঘ্য ভৌত সারণি থেকে Å	পর্যঃ সংখ্যা $k = 1, 2, \ldots$	V_1-ভার্নিয়ারের পাঠ					V_2-ভার্নিয়ারের পাঠ				
			মূঃ স্কেঃ পাঠ	ভাঃ পাঠ	ভাঃ পাঠের মান	মোট পাঠ $c_1 =$	গড় পাঠ	মূঃ স্কেঃ পাঠ	ভাঃ পাঠ	ভাঃ পাঠের মান	মোট পাঠ $c_2 =$	গড় পাঠ
			a_1	b_1	$b_1 \times 10''$	$a_1 + b_1 \times 10''$	θ'_k	a_2	b_2	$b_2 \times 10''$	$a_2 + b_2 \times 10''$	θ''_k
			° ′ ″			° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″			° ′ ″	° ′ ″
λ_1: লাল(200)	7065.19	1a 1b										
λ_2: লাল(100)	6678.15	2a 2b										
λ_3: হলুদ(500)	5875.62	3a 3b										
λ_4: সবুজ(100)	5015.67	4a 4b										
λ_5: সবুজ-নীল (20)	4921.93	5a 5b										
λ_6: নীল(25)	4471.48	6a 6b										
λ_7: বেগুনি(50)	4026.19	7a 7b										
λ_8: বেগুনি(500)	3889	8a 8b										

সারণি 3

টেলিস্কোপের 'সমাক্ষ' অবস্থানের পাঠ 'θ_0' নির্ণয়

পঃ সংখ্যা	ক্রসতারের গতি	V_1-ভার্নিয়ারের পাঠ					V_2-ভার্নিয়ারের পাঠ				
		মূল স্কেঃ পাঠ ° ′ ″	ভাঃ পাঠ	ভাঃ পাঠের মান ° ′ ″	মোট পাঠ ° ′ ″	গড় পাঠ θ_0' ° ′ ″	মূল স্কেঃ পাঠ ° ′ ″	ভাঃ পাঠ	ভাঃ পাঠের মান ° ′ ″	মোট পাঠ ° ′ ″	গড় পাঠ θ_0'' ° ′ ″
1. a	বাম থেকে → ডানে										
1. b	ডান থেকে → বামে										
2. a	→										
2. b	←										

সারণি 4

$\lambda_k - \delta_k$-র মান ঃ সারণি 2 এবং 3 থেকে গৃহীত

পর্য সংখ্যা	λ_k $k = 1,2\ldots, 8(\text{Å})$	V_1 ভার্নিয়ার $\delta_k' = \delta_k' \sqcup \theta_0'$ ° ′ ″	V_2 ভার্নিয়ার $\delta_k'' = \delta_k'' \sqcup \theta_0''$ ° ′ ″	গড় $\delta_k = \frac{1}{2}(\delta_k' + \delta_k'')$ ° ′ ″	$\frac{1}{\lambda_k}(\text{Å})^{-1}$
1.	$\lambda_1 = 7065.19$				
2.	$\lambda_2 = 6678.15$				
3.	.				
4.	.				
5.	.				
6.	.				
7.	.				
8.	$\lambda_8 = 3889$				

11.3 পরিশিষ্ট A : স্পেক্‌ট্রোমিটার যন্ত্র ও এর বিভিন্ন অংশের ক্রিয়াকলাপ

যন্ত্রের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা ঃ

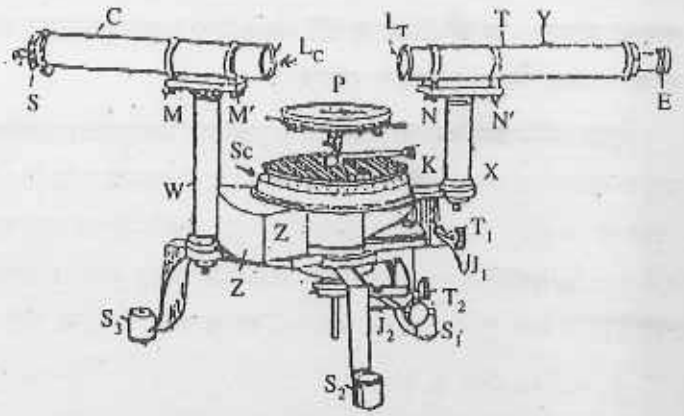
চিত্র 11-d দ্রঃ এই যন্ত্রের মূল অংশ তিনটি ঃ

(1) একটি কলিমেটর (Collimator) C (S...L_c)

(2) একটি টেলিস্কোপ, T(L_T...E) এবং

(3) একটি চক্রাকার প্লেট, যার চলিত নাম প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌ল, P।

(1) কলিমেটর মূলত একটি পিতলের নল, যার S প্রান্তে একটি রেখাছিদ্র (slit) S এবং অন্য প্রান্তে L_C একটি অভিসারী লেন্স (L_C→ collimator lens) যুক্ত থাকে। রেখাছিদ্রের বেধ বাড়ানো-কমানোর একটা ব্যবস্থা থাকে। এছাড়া একটি সংযুক্তি (device) থাকে যার সাহায্যে SL_C দূরত্ব পরিবর্তন করা চলে, কিন্তু এই সরণ হবে লেন্স-অক্ষ বরাবর।



চিত্র 11.d : স্পেক্‌ট্রোমিটারের বিভিন্ন অংশ

(2) টেলিস্কোপটির অভিলক্ষ্য লেন্সও অভিসারী (L_T) এবং এর অন্যপ্রান্তে E অভিনেত্র (eye-piece) যুক্ত থাকে। L_T হচ্ছে টেলিস্কোপটির অভিলক্ষ্য (objective) যার উপর আপতিত প্রায় সমান্তরাল বা সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসৃত হয়ে অভিলক্ষ্যের পশ্চাৎ-ফোকাস্‌তলে একটি বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠন করে। এই প্রতিবিম্বের অবস্থানের কাছাকাছি একটি বলয়ের দুটি পরস্পর-লম্ব ব্যাস বরাবর দুটি ক্ষীণ তার সংযুক্ত থাকে—এদের নাম হচ্ছে ক্রস্‌ তার (cross-wires)। ক্রস্‌তারটি সাধারণত অভিনেত্র E-র সম্মুখ-ফোকাসের কাছে বসানো হয়—অভিনেত্রকে টেলিস্কোপ অক্ষ বরাবর গতিশীল করা যায়—এবং এর সম্মুখ ফোকাসতলটি ক্রসতারের সমতলে বসানো যায়। একটি র‍্যাক-পিনিয়ন (rack-and-pinion) ব্যবস্থার স্ক্রু ঘুরিয়ে অভিনেত্রটির সম্মুখ-ফোকাসতল যখন রেখাছিদ্রের বাস্তব প্রতিবিম্বের উপর সমাপতিত করা হয়, তখন অভিনেত্রের বীক্ষণ লেন্স (eye lens) থেকে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হবে এবং তা পর্যবেক্ষকের চোখে (retina) রেখাছিদ্রের বাস্তব প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করবে। রেখাছিদ্রটির এই প্রতিবিম্ব আমরা দেখব টেলিস্কোপের দৃষ্টিক্ষেত্রে (field of view), ক্রস্‌তারের সমতলে, কিছুটা বিবর্ধিত ভাবে (চিত্র 11 h দ্রঃ)।

(3) চিত্র 11d-তে S_c হচ্ছে সর্বত্র সমান কৌণিক বিভাজন যুক্ত একটি ভারী স্টিল প্লেট ; এর কেন্দ্র দিয়ে একটি উল্লম্ব রেখা করা যায় যা টেলিস্কোপ নলের অনুভূমিক তলে গতিশীল অবস্থার ঘূর্ণনাক্ষ বিশেষ।

প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌ল P-কে ঘোরানো হলে এটি তারও ঘূর্ণনাক্ষ। লক্ষ্যণীয় কলিমেটর নলটি স্পেকট্রোমিটারের মূল ভারী অংশের সঙ্গে প্রায় দৃঢ়ভাবে যুক্ত। S_C প্লেটের কৌণিক বিভাজন 0°-360°, প্রতিটি ডিগ্রী সাধারণত তিনভাগে (অর্থাৎ 20′ বিভাজনে) বিভক্ত এবং প্রতি 20′-কে সূক্ষ্মতর বিভাজনের জন্য ভার্নিয়ার ব্যবস্থা রয়েছে। 59টি 20′-বিভাজনের চাপদৈর্ঘ্যকে 60টি সমান ভাগে ভাগ করে নিয়ে ভার্নিয়ারের ক্ষুদ্রতম বিভাজন তৈরি করা হয় এবং এই চাপদৈর্ঘ্যের ভার্নিয়ার স্কেলটি মূলস্কেলের গায়ে লেগে থেকে ঘুরতে পারে। ফলে ভার্নিয়ার ধ্রুবাংক দাঁড়ায় $\frac{1}{60}\times 20' = 20''$। অর্থাৎ কৌণিক পরিমাপের সর্বনিম্ন মান 20″ (অনেক পরীক্ষণাগারে 10″ ভাঃ ধ্রুবক সম্বলিত স্পেকট্রোমিটার রয়েছে, এটা লক্ষ্যণীয়)।

S_c প্লটের একটি ব্যাসের বিপরীত দিকে এরকম দুটি ভার্নিয়ার স্কেলের টুকরো লাগানো থাকে—V_1 এবং V_2 বলে আমরা উল্লেখ করব—টেলিস্কোপের ঘূর্ণন-অক্ষদণ্ডটির সঙ্গে এদের দৃঢ়ভাবে আটকে দেওয়ার ব্যবস্থা রয়েছে। ফলে টেলিস্কোপটি অনুভূমিক তলে ঘোরানো হলে এই ঘূর্ণনের পরিমাণ 20″ সূক্ষ্মতার সঙ্গে আমরা নিরূপণ করতে পারবো।

দুটো ভার্নিয়ার কেন ব্যবহৃত হয়? চক্রাকার মূলস্কেলের কেন্দ্রস্থলটি যদি যথাযথভাবে ঘূর্ণন-অক্ষে না থাকে তাহলে V_1 এবং V_2-র পাঠে ঠিক $\pm 180°$ পার্থক্য হবে না। ফলে যে কোনও একটি ভার্নিয়ারের পাঠ নিলে তা প্রকৃত ঘূর্ণন কোন ϕ থেকে $+\varepsilon$ বা $-\varepsilon$ পরিমাণের পার্থক্য দেখাবে। এটাকে বলে উৎকেন্দ্রিকতার ত্রুটি (ecentricity error)। যদি V_1-এর পাঠ থেকে লব্ধ কোনও ঘূর্ণন কোণের মান ϕ_1 হয় এবং V_2-র পাঠ থেকে লব্ধ ঘূর্ণন কোণের মান ϕ_2 হয় তাহলে দেখানো যায় যে

$\phi_1 = \phi + \varepsilon$ এবং $\phi_2 = \phi - \varepsilon$

$\therefore \phi_1 + \phi_2 = 2\phi$, যেখানে ϕ = ঘূর্ণন কোণের প্রকৃত মান।

অর্থাৎ ϕ_1 এবং ϕ_2 এর গড় নিলে উৎকেন্দ্রিকতার ত্রুটি অপনীত হচ্ছে।

প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌ল P-কে উল্লম্বদিকে ওঠানো, নামানো এবং ইচ্ছামতো আটকানোর ব্যবস্থা রয়েছে। এটিকে ইচ্ছে করলে $V_1 - V_2$ ভার্নিয়ার যুগ্মের সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আটকে দেওয়া যায়। তখন P-র অনুভূমিক তলে ঘূর্ণনের মান পরিমাপযোগ্য হয়।

অন্যান্য যন্ত্রাংশ ঃ ট্যানজেন্ট-স্ক্রু ও লেভেলিং স্ক্রু-গুলি চিত্র 11-d তে লক্ষ্য করুন। টেলিস্কোপ T-কে অনুভূমিক করার জন্য নলের তলদেশে N, N′ স্ক্রু দুটির ব্যবস্থা রয়েছে। টেলিস্কোপকে উল্লম্ব মূল অক্ষদণ্ডের সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আটকানোর জন্য J_1 স্ক্রু রয়েছে ; J_1 স্ক্রুটি আটকানোর পর স্প্রীং-চালিত T_1 স্ক্রুর সাহায্যে কৌণিক স্কেলের চক্রফলক সাপেক্ষে টেলিস্কোপকে সামান্য কোণে ঘোরানো চলে। J_1-কে বলে locking screw আর T_1-কে বলে ট্যানজেন্ট স্ক্রু। J_1-কে শিথিল করলে টেলিস্কোপকে হাত দিয়ে অনুভূমিক তলে ঘোরানো যায়—তখন T_1 অকেজো। সামান্য ঘোরাতে হলে J_1-কে দৃঢ়বদ্ধ করে T_1 ঘোরাতে হবে।

কলিমেটর নলটির কোনও ঘূর্ণনগতি নেই ; এটি উল্লম্ব স্তম্ভ W-এর উপর স্থাপিত ও দৃঢ়বন্ধ। তবে নলটিকে অনুভূমিক করার জন্য এর তলদেশে M, M´ দুটি স্ক্রু লাগানো থাকে ; M, M´-কে উপরদিকে বা নিচদিকে ঘুরিয়ে নলাক্ষ অনুভূমিক করা হয় স্পিরিট লেভেল ব্যবহার করে।

প্রিজ্‌ম্‌-টেবল্‌ P-কে স্বল্প ঘোরানোর জন্য T_2 এবং ঘোরানো বন্ধ করার জন্য J_2 এই লকিং স্ক্রুটি ব্যবহৃত হয় ; এদের ভূমিকা T_1, J_1-এর অনুরূপ। P-এর উপরপৃষ্ঠে কতকগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্ত ও বৃত্তব্যাসের সমান্তরাল কয়েকটি সরলরেখা খোদিত থাকে। এদের সহায়তায় প্রিজ্‌মের প্রধান প্রস্থচ্ছেদের কেন্দ্রটিকে ঘূর্ণন-অক্ষের উপর সহজেই স্থাপন করা চলে। P-কে অনুভূমিক অবস্থানে সঠিকভাবে রাখার জন্য এর তলদেশে তিনটি লেভেলিং স্ক্রু স্প্রীং সহযোগে পৃথক একটি চক্রফলকের উপর আটকানো হয় এবং প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌লটিকে তার উপরে বসানো হয়।

যন্ত্রের মূল অনড় অংশটি S_1, S_2, S_3 এই তিনটি লেভ্‌লিং স্ক্রু-র উপর প্রতিষ্ঠিত। এই অংশের উল্লম্ব স্তম্ভ W-এর উপর অনুভূমিক ভাবে কলিমেটর নল C অবস্থিত (চিত্র 11-d)। যন্ত্রের কেন্দ্রাংশে একটি উল্লম্ব অক্ষদণ্ড (axis) রয়েছে যার সাপেক্ষে ঘূর্ণনক্ষম অনুভূমিক টেলিস্কোপ নল T, স্তম্ভ X-এর উপর অবস্থিত। স্তম্ভ X, অক্ষদণ্ড সাপেক্ষে (টেলিস্কোপ বহন করে) ঘূর্ণনক্ষম। টেলিস্কোপ এবং স্তম্ভ X-এর ভারজনিত টর্ক যাতে অক্ষদণ্ডকে ক্ষয় না করে দেয় সেজন্য বিপরীত দিকে Z একটি প্রয়োজনানুপাতিক ভারী অংশ হিসাবে (counterpoise) সংযোজিত হয়।

11.4 পরিশিষ্ট B : প্রিজম স্পেকট্রোমিটার ব্যবহারের পূর্বে করণীয় বিভিন্ন সমন্বয়ন (adjustments)

আলোক উৎসের সম্মুখে স্বল্প দৈর্ঘ্য ও অত্যল্প বেধযুক্ত (5mm × 0.2 mm ধরা যাক) রেখাছিদ্রটি উন্মুক্ত করা হলে এটি রৈখিক আলোক উৎস হয়ে যায়। এর বিভিন্ন বিন্দু থেকে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হয়ে স্পেকট্রোমিটারে প্রবেশ করে থাকে। স্পেকট্রোমিটার যন্ত্রের অন্যদিকে চোখ রেখে আমরা ঐ রেখাছিদ্রের বিভিন্ন প্রতিবিম্ব, বর্ণালিরেখার আকারে দেখে থাকি এবং ঐ প্রতিবিম্বগুলির অবস্থানের কৌণিক পরিমাপ করে থাকি। এজন্য যে সব সমন্বয়ন প্রয়োজন সেগুলিকে তিন শ্রেণিতে ফেলা যায়—

(1) যন্ত্রাংশগুলির অনুভূমিককরণ (Levelling)

চক্রাকার স্কেলের সমতল, প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌লের সমতল, টেলিস্কোপের অক্ষ এবং কলিমেটরের অক্ষ যাতে যথাযথ অনুভূমিকতলে অবস্থান করে সেটা প্রথমে দেখতে হবে। এই অনুভূমিককরণ (levelling) কাজগুলি বিভিন্ন লেভেলিং স্ক্রু ঘুরিয়ে যান্ত্রিক উপায়ে করা হয় বলে এই অনুভূমিককরণকে বলে যান্ত্রিক অনুভূমিককরণ (mechanical levelling)।

(2) আলোকীয় অনুভূমিককরণ (Optical Levelling)

টেলিস্কোপের অক্ষ যন্ত্রের ঘূর্ণনাক্ষকে অবশ্যই ছেদ করবে এবং এদের মধ্যবর্তী কোণ হবে 90°। অর্থাৎ তখন ঘূর্ণনাক্ষ উল্লম্ব হলে টেলিস্কোপ অক্ষ যে কোনও অবস্থানেই অনুভূমিকতলে বিচরণ করবে।

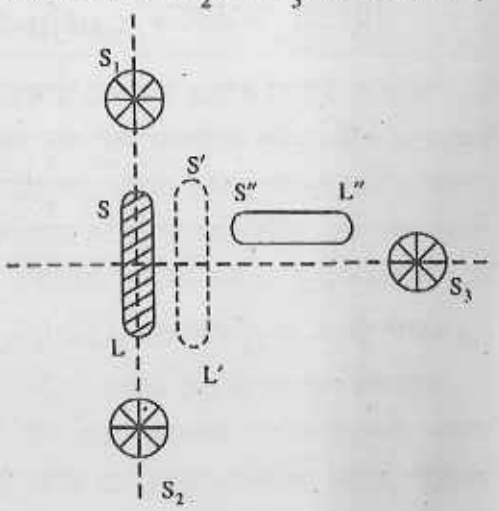
কলিমেটরের অক্ষও ঐ ঘূর্ণনাক্ষকে 90° কোণে ছেদ করবে। তাহলেই প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌লে আপতিত রশ্মিগুচ্ছের প্রতিটি রশ্মিই হবে অনুভূমিক। প্রিজ্‌মের প্রতিসারক তলদুটি অবশ্যই উল্লম্ব হবে এবং এরা ঘূর্ণনাক্ষের সমান্তরালও হবে। এর ফলে প্রিজ্‌মের প্রধান ছেদে সব রশ্মিগুলির প্রতিসরণ ঘটবে। প্রতিসৃত রশ্মিগুলির সবই হবে অনুভূমিক এবং টেলিস্কোপ-অক্ষ যথাযথ অনুভূমিক হলে টেলিস্কোপের পশ্চাৎফোকাসতলে প্রতিবিম্বগুলি হবে উল্লম্ব উজ্জ্বল রেখা। এই আদর্শ ব্যবস্থা সত্যই হচ্ছে কিনা তা আলোকানুসারী পদ্ধতিতে যাচাই করতে হবে।

(3) প্রিজ্‌মে আপতিত প্রধান রশ্মিগুচ্ছের সমান্তরালকরণ ঃ

রেখাছিদ্রটি ক্ষীণবেধযুক্ত হলে এটি একটি হ্রস্ব রৈখিক উৎস হবে যার প্রতিটি বিন্দু থেকে নির্গত রশ্মিগুচ্ছ এর একটি প্রতিবিম্ব গঠন করবে। প্রতিবিম্ব গঠনের পথে কলিমেটর লেন্স, প্রিজ্‌ম এবং টেলিস্কোপের লেন্সব্যবস্থা পড়বে। তত্ত্ব থেকে জানা যায় যে যদি প্রিজ্‌মে আপতিত রশ্মিগুচ্ছ এর প্রধানছেদের সমান্তরালে অবস্থান করে তাহলে রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বে অবিন্দুকত্ব (astigmatism) অবম মান গ্রহণ করবে এবং যদি অবম বিচ্যুতি ঘটিয়ে প্রতিসৃত করা যায় তাহলে অবিন্দুকত্ব একেবারেই অনুপস্থিত হবে অর্থাৎ রৈখিক উৎসের প্রতিবিম্ব হবে যথার্থই ঋজুরেখ (অন্যান্য লেন্সগুলির অপেরণ নেই ধরে নিতে হবে)। এজন্য রশ্মিগুচ্ছের সমান্তরালকরণ একান্ত আবশ্যক।

(1) যান্ত্রিক লেভেলিং (Mechanical Levelling)

(i) প্রথমে স্পেক্‌ট্রোমিটারের বনিয়াদের স্ক্রুগুলি (S_1, S_2, S_3) লক্ষ্য করুন (অনেক যন্ত্রে রেখাছিদ্রের নীচে কোনও স্ক্রু থাকে না—থাকে একটি সূচ্যগ্র দণ্ডমাত্র—সেক্ষেত্রে কেবল S_2 এবং S_3-ই সমন্বয়নযোগ্য) একটি স্পিরিট লেভেল SL নিয়ে এমনভাবে স্পেক্‌ট্রোমিটারের নিম্নাংশের কোনও সমতলে (অথবা চক্রাকার স্কেলের অনুভূমিক সমতলে) বসান যেন $S_1..S_2$-র সংযোগকারী কাল্পনিক সরলরেখাটি S_L-এর প্রায় সমান্তরাল হয় (চিত্র 11e) S_2-স্ক্রুটি সমন্বয়িত করে (অর্থাৎ দক্ষিণাবর্তে বা বামাবর্তে ঘুরিয়ে) SL-এর বুদ্বুদটি কেন্দ্রে নিয়ে আসুন। এবার SL-কে 90° ঘুরিয়ে S′′L′′ অবস্থানে বসান যাতে S_1S_2 রেখা ও S′′L′′ পরস্পর লম্ব হয় (চিত্র 11e)। এবার S_3-কে ঘুরিয়ে S′′L′′-এর বুদ্বুদ কেন্দ্রস্থলে আন্‌তে হবে। আবার স্পিরিট লেভেলটিকে SL অবস্থানে বসিয়ে দেখুন বুদ্বুদ কেন্দ্রে আছে কি না। যদি না থাকে তাহলে S_1 বা S_2 ঘুরিয়ে বুদ্বুদকে কেন্দ্রস্থলে আনতে হবে। এভাবে স্পিরিট লেভেল একবার SL অবস্থানে রেখে S_1 বা S_2 ঘোরাতে হবে এবং তারপর S″L″ অবস্থানে রেখে



চিত্র 11.e : স্পিরিট লেভেল যথাযথ সংস্থাপনের পর্যায়ক্রম

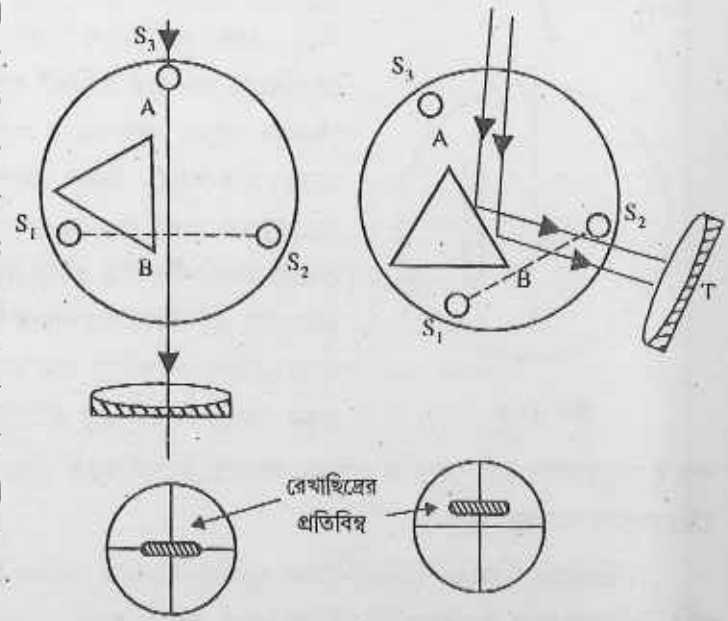
S_3 ঘোরাতে হবে। সমন্বয়ন তখনই সঠিক হবে যখন স্পিরিট লেভেল SL বা S"L" অবস্থানে রাখলে বুদ্বুদ ঠিক কেন্দ্রে থাকে।

(ii) স্পিরিট লেভেল কলিমেটর নলের উপর বসিয়ে নিন এবং এই নলের নীচে যে দুটি স্ক্রু রয়েছে সেগুলি সমন্বয়িত করে বুদ্বুদটি কেন্দ্রস্থ অবস্থানে নিন। বুদ্বুদ কেন্দ্রস্থ হলে কলিমেটরের গাত্র তথা অক্ষ অনুভৌম হলো বোঝা যায়।

(iii) অনুরূপে টেলিস্কোপ-অক্ষ অনুভৌম করুন। টেলিস্কোপ ঘুরিয়ে ঘুরিয়ে এর বিভিন্ন অবস্থানেই কিন্তু স্পিরিট লেভেলের বুদ্বুদ কেন্দ্রস্থ থাকবে। না থাকলে এর কারণ অনুসন্ধান করুন। হয়তো ঘূর্ণন-অক্ষ উল্লম্ব হয় নি—সেক্ষেত্রে বনিয়াদের স্ক্রুগুলি সামান্য পুনঃসমন্বয়িত করার প্রয়োজন হবে। হয়তো টেলিস্কোপের অক্ষ, উল্লম্ব অক্ষকে ঠিক 90° মানে ছেদ করছে না, কিংবা হয়তো এই দুটি অক্ষ এক উল্লম্ব সমতলে নেই।

(2) আলোকীয় লেভেলিং* (Optical Levelling)

প্রিজ্‌মটি এমনভাবে প্রিজ্‌ম্-টেব্‌লে বসান যেন এর একটি প্রতিসরণ তল AB (চিত্র 11f) এবং প্রিজ্‌ম্ টেব্‌লের লেভেলিং স্ক্রু S_1, S_2-এর সংযোগকারী সরলরেখাটি পরস্পর সমকোণে হয়। টেলিস্কোপ এবং কলিমেটর একই রেখায় রাখুন, AB যেন এই রেখার সমান্তরাল এবং প্রিজ্‌ম্-টেব্‌লের কেন্দ্র থেকে সামান্য দূরে থাকে। এবার রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব দেখুন এবং রেখাছিদ্রটিকে অনুভূমিক করে (অর্থাৎ সাধারণ অবস্থান থেকে ±90° ঘুরিয়ে) রাখুন। এবার কলিমেটর এবং/অথবা টেলিস্কোপের নীচের স্ক্রু ঘুরিয়ে ঐ প্রতিবিম্বটি ক্রস্‌তারের সংযোগ স্থলে রাখুন (চিত্র 11f)। এবার টেলিস্কোপকে যে কোনও কৌণিক অবস্থানে রাখুন (চিত্র 11g) এবং প্রিজ্‌ম্-টেবল্ যথোচিত ঘুরিয়ে AB পৃষ্ঠ থেকে রশ্মি প্রতিফলিত করে টেলিস্কোপের দৃষ্টিক্ষেত্রে রেখাছিদ্রের অনুভূমিক প্রতিবিম্বটি দেখুন। সাধারণত হয়তো এটি আর ক্রস্‌তারের সংযোগস্থলে থাকবে না, (চিত্র 11g) প্রিজ্‌ম্-টেব্‌লের স্ক্রু S_1 বা S_2 ঘুরিয়ে



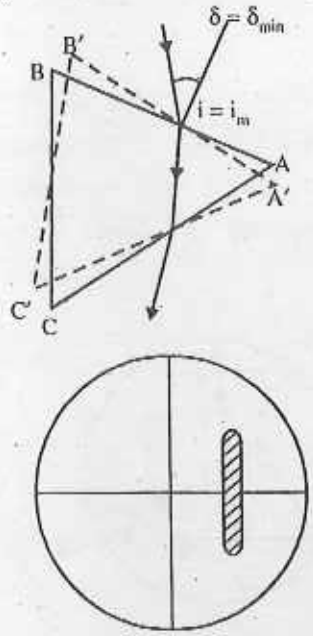
চিত্র 11.f চিত্র 11.g

* এই সমন্বয়নটি রশ্মিগুচ্ছ সমান্তরীকৃত করার পরও করা যায়

এই প্রতিবিম্ব যথাস্থানে নিয়ে আসতে হবে। এভাবে টেলিস্কোপকে ক্রমশঃ কলিমেটরের আরও কাছে নিয়ে গিয়ে প্রতিবিম্বের অবস্থান যাচাই করে দেখুন। প্রয়োজনে S_1, S_2 সমন্বয়িত করুন। এবার প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌ল ঘুরিয়ে প্রথম অবস্থানে চলে যান এবং টেলিস্কোপ ও কলিমেটর সমরেখ করুন। প্রতিবিম্ব যথাস্থানে না থাকলে কলিমেটরের নীচের স্ক্রু ঘুরিয়ে সেটা করতে হবে এবং পূর্বের প্রক্রিয়ার পুনরাবৃত্তি করতে হবে। দু তিনবার এরকম করার পর প্রতিবিম্ব যথাস্থানেই থাকবে—এবং তখনই বুঝবেন যে টেলিস্কোপ-অক্ষ ও কলিমেটরের অক্ষ উভয়েই আবর্তন অক্ষের সমকোণে রয়েছে এবং প্রিজ্‌মের AB পৃষ্ঠ ঐ আবর্তন অক্ষের সমান্তরাল।

(3) রশ্মিগুচ্ছের সমান্তরালকরণ (শুস্টার-প্রবর্তিত পদ্ধতি** অবলম্বনে)

কলিমেটর এবং টেলিস্কোপ পৃথকভাবে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের জন্য ফোকাসিত হওয়া দরকার। এজন্য শুস্টার প্রবর্তিত পদ্ধতিই সহজ, নির্ভ্রম এবং সর্বাধিক নিয়মানুগ (systematic) বলে মনে হয়। পদ্ধতিটি সংক্ষেপে এই ঃ প্রথমে সোডিয়াম ল্যাম্প জ্বেলে নিন এবং রেখাছিদ্রটি উল্লম্ব অবস্থায় বেশ চওড়া করে রাখুন। প্রিজ্‌ম্‌টি এমনভাবে বসান যাতে প্রিজ্‌মের ভূমি-সমতল (base plane)-এর কেন্দ্রবিন্দুটি বৃত্তের কেন্দ্রে বসে এবং প্রিজ্‌মের 'কিনারা' আপনার নিকটতর অবস্থানে থাকে (প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌লের পৃষ্ঠতলে কতকগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্ত এবং সদৃশকোণী ত্রিভুজ আঁকা থাকে যাতে এই সংস্থাপন সহজেই করা যায়)। এবার খালিচোখে প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়ে তাকালে অনায়াসেই রেখাছিদ্রের অলীক প্রতিবিম্বটি আপনার নজরে আসবে। প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌ল ঘোরাতে থাকুন, দেখবেন ঐ প্রতিবিম্ব হয় ডানে না হয় বামে সরে যাচ্ছে। যদি আপনি প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌লটিকে ক্রমাগত একই দিকে ঘুরিয়ে যান তাহলে লক্ষ্য করবেন যে প্রতিবিম্বটি কোনও একদিকে কিছুদূর এগিয়ে গিয়ে দৃষ্টিপটের একটা নির্দিষ্ট অবস্থান থেকে ফিরে আসছে। দৃষ্টিপটের এই নির্দিষ্ট অবস্থানই প্রিজ্‌মের অবম বিচ্যুতির অবস্থানের সূচক। টেলিস্কোপ ঘুরিয়ে এনে তার দৃষ্টিপটে এই প্রতিবিম্বটি সংস্থাপিত করুন। অবম বিচ্যুত এই প্রতিবিম্বটি দৃষ্টিবৃত্তের পরিধি থেকে এমন দূরত্বে রাখুন যাতে এটি কেন্দ্র ও পরিধির মধ্যবর্তী স্থানে থাকে (চিত্র 11 h)। এবার নীচে নির্দেশিত ক্রমে প্রক্রিয়াগুলির অনুষ্ঠান করুন।

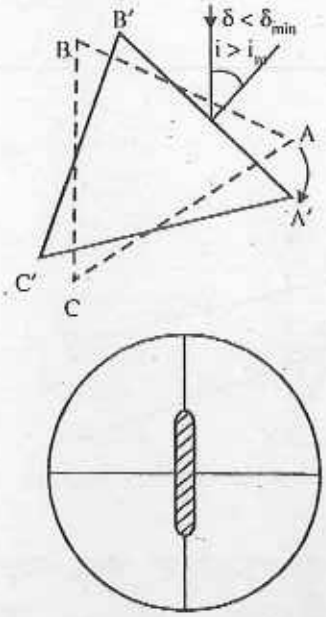


চিত্র 11.h

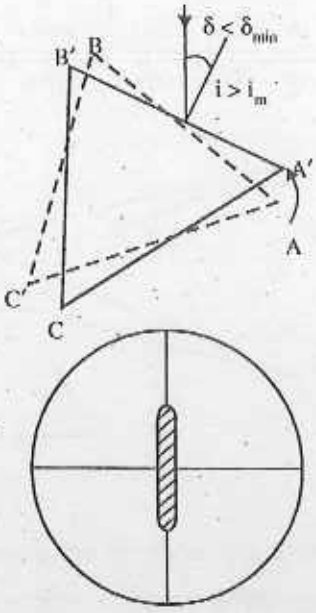
(i) প্রিজ্‌মের 'কিনারা' (প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌ল ঘুরিয়ে) আপনার চোখের দিকে ক্রমশ এগিয়ে আনুন, দেখবেন প্রতিবিম্ব ক্রস্‌তারের সংযোগস্থলের দিকে ক্রমশ অগ্রসর হচ্ছে। যখন প্রতিবিম্বটি উল্লম্ব ক্রস্‌তারটির উপর

**A. Schuster, Philosophical Magazine পত্রিকায় (VII, P. 95 1879) প্রথম এই পদ্ধতি প্রকাশ করেন।
দ্রঃ A. Schuster, Theory of Optics, 1924

প্রতিসমভাবে অবস্থান করছে, (চিত্র 11.i) তখন টেলিস্কোপের ফোকাস্-স্ক্রু ঘুরিয়ে (অর্থাৎ র‍্যাক পিনিয়নের নব ঘুরিয়ে) প্রতিবিম্বটি স্পষ্টভাবে ফোকাস্ করুন। ফোকাস ঠিক হল কি না বোঝবার উপায় এই—আলোকিত আয়তাকার ক্ষেত্রের সীমারেখা খুব স্পষ্ট (sharp) হবে অর্থাৎ আলোকিত ও অনালোকিত অংশের এই বিভেদরেখাটি ক্ষীণতম হবে। (অনেক সময় রেখাছিদ্রের গায়ের ধূলিকণাগুলি উজ্জ্বল আলোকের পশ্চাৎপটে কালো বিন্দুর আকারে স্পষ্টভাবে দেখা দেয়।)



চিত্র 11.i



চিত্র 11.j

(ii) এবার প্রিজ্ম্-টেব্‌ল বিপরীতক্রমে ঘোরান যাতে প্রিজমের কিনারাটি আপনার কাছ থেকে ক্রমশঃ দূরে সরে যেতে থাকে। ক্রমশঃ দেখবেন দৃষ্টিপটে প্রতিবিম্বটি চিত্র-এর অনুরূপ অবস্থানে আসবে এবং তারপর প্রতিবিম্বটি ক্রস্‌তারের সংযোগস্থলের দিকে অগ্রসর হবে। শেষ অবধি যখন উল্লম্ব ক্রস্‌তারের দুপাশে প্রতিবিম্বটি আবার প্রতিসমভাবে অবস্থান করবে, (চিত্র 11 j) তখন কলিমেটর-এর সংলগ্ন স্ক্রু ঘুরিয়ে এই প্রতিবিম্বটি সর্বাধিক স্পষ্ট করে ফোকাস করতে হবে।

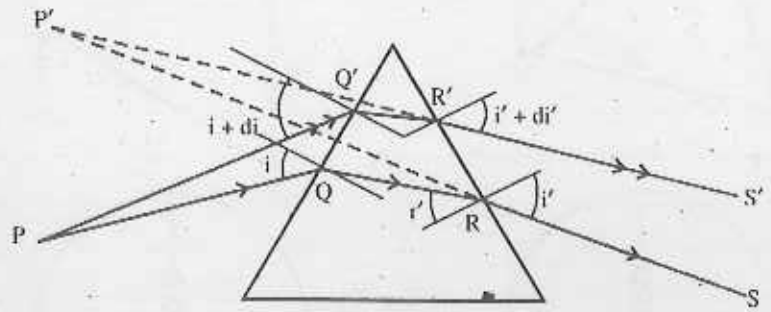
(i) এবং (ii) পর্যায়ক্রমে পুনরাবৃত্ত করা হলে দেখা যাবে যে প্রিজ্মের ঐ দুই অবস্থানে ফোকাস প্রায় অপরিবর্তিত থাকছে।

মনে রাখুন—প্রিজ্ম্ কিনারা নিকটে আনা হলে নিকটের যন্ত্র অর্থাৎ টেলিস্কোপ ফোকাস করতে হবে। প্রিজ্ম্ কিনারা দূরে সরে গেলে দূরের যন্ত্র অর্থাৎ কলিরমেটর ফোকাস করতে হবে।

11.5 পরিশিষ্ট C : শুস্টার পদ্ধতির তাত্ত্বিক আলোচনা

শুস্টার-পদ্ধতির তাত্ত্বিক তাৎপর্য আলোচনা খুবই প্রাসঙ্গিক বলে সংক্ষেপে (বিশদতর আলোচনা শুস্টার-এর পুস্তকে দ্রঃ) আলোচিত হল। চিত্র 11 k তে প্রিজমের প্রধান ছেদের প্রতিসৃত রশ্মিগুলি দেখানো হয়েছে। PQQ′ একটি সরু রশ্মিশঙ্কু যার Q, Q′ বিন্দুতে আপতন কোণ যথাক্রমে i ও i + di এবং R, R′ বিন্দুতে নির্গমন কোণ যথাক্রমে i′ এবং i′ + di′। তাহলে প্রিজ্‌ম্‌-প্রতিসরণের সূত্র থেকে পাই

$$\frac{di'}{di} = \frac{dr'}{dr} \cdot \frac{\cos r' \cos i}{\cos i' \cos r} = -\frac{\cos r'}{\cos i'} \cdot \frac{\cos i}{\cos r} \qquad \ldots (7)$$



চিত্র 11.k

সূত্রটির তাৎপর্য এই। P-কে যদি সসীম বেধ-বিশিষ্ট উৎস বলে গণ্য করা হয় তবে Q-থেকে পর্যবেক্ষণ করা হলে P-এর কৌণিক প্রসারতার পরিমাপ di-র সমানুপাতী কেননা ∠QPO′ = di; তখন di′ হবে অলীক প্রতিবিম্ব P′-এর কৌণিক প্রসারতা যা R বিন্দু থেকে দৃষ্ট হবে। কাজেই $-\frac{di'}{di}$ হচ্ছে প্রিজ্‌মের দ্বারা উৎপন্ন প্রতিবিম্বের কৌণিক বিবর্ধন M।

যখন $i = i' = i_m$, তখন $M = 1$; [সূত্র 7 থেকে]

$i < i_m$ হলে $M < 1$

$i > i_m$ হলে $M > 1$

এ থেকে বোঝা যাচ্ছে যে রেখাছিদ্রটি অবম বিচ্যুতিকোণের অবস্থান থেকে দৃষ্ট হলে তার কৌণিক বিবর্ধন হবে না ; কিন্তু অবম বিচ্যুতি কোণের বেশি বা কম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব প্রসারিত বা সংকুচিত দেখাবে। এটাই শুস্টার পদ্ধতির মূল কথা। কলিমেটর যথার্থ সমন্বয়িত না হলে এ থেকে নির্গত রশ্মি হবে অসমান্তরাল। প্রিজ্‌ম্‌ যখন অবম বিচ্যুতির অবস্থানে নেই তখন টেলিস্কোপের মধ্য দিয়ে তাকিয়ে যে প্রতিবিম্ব দেখা যাবে সেটি যদি সংকুচিত দেখায় তবে বুঝতে হবে যে রশ্মিগুচ্ছ কলিমেটরের লেন্স থেকে নির্গত হওয়ার পর যেটুকু অসমান্তরাল ছিল, প্রিজ্‌মের মধ্যে দিয়ে প্রতিসৃত হওয়ার পর প্রায় সমান্তরাল হয়ে

গেছে। কাজেই এ অবস্থায় টেলিস্কোপই ফোকাস করা প্রয়োজন। প্রতিবিম্ব যখন অপেক্ষাকৃত প্রসারিত দেখাবে, তখন কলিমেটরকে ফোকাস করতে হবে। শুস্টার-পদ্ধতিতে এ জন্যই প্রিজ্‌মটিকে অবম বিচ্যুতির অবস্থানের হয় এপাশে না হয় ওপাশে সরিয়ে বসানো হয় এবং টেলিস্কোপ বা কলিমেটর যথাযথ ফোকাস করে দেখা হয় যেন যে কোনও অবস্থানেই প্রতিবিম্ব বিবর্ধিত বা সংকুচিত না হয়। প্রতিবিম্বটি তখন ক্রমশঃ দূরে সরে যায়।

11.6 প্রশ্নাবলি

(1) $\delta - 1/\lambda^2$ ও $\delta - 1/\lambda$ পাঠমূল্যায়ন রেখার কোনটি বেশি উপযোগী ?

(2) এই পরীক্ষায় প্রিজ্‌ম্‌ দ্বারা আলোর বৃহৎ বিচ্যুতি ও বৃহৎ বিচ্ছুরণ-এর মধ্যে কোনটি বেশি পছন্দের ?

(3) প্রিজ্‌মটি Crown কাচের বা Flint কাচের হলে কি তফাৎ হবে ?

(4) প্রিজ্‌ম্‌ উপাদানের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কাকে বলে ? কোন উপাদানের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কি ধ্রুবক ?

(5) এই পরীক্ষায় দুটি কোণমাপক ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠের তফাৎ কত ?

(6) স্পেকট্রোমিটারকে অনুভূমিক করার প্রয়োজন হয় কেন ?

(7) টেলিস্কোপ ও কলিমেটরকে সমান্তরাল রশ্মির জন্য ফোকাস করা হয় কেন ?

(8) এই টেলিস্কোপে কী ধরনের অভিনেত্র ব্যবহার করা হয় ?

(9) প্রিজ্‌মের বিচ্যুতি কোণ δ এবং আপতন কোণ i-এর সম্পর্কটি লিখে দেখান। একটি লেখচিত্র এঁকে $\delta - i$ সম্পর্ক দেখান।

(10) কোনও স্বচ্ছ বস্তুর (যথা কাচ) $\mu - \lambda$ বক্র কী ধরনের হয় থাকে এঁকে দেখান। কসি (Cauchy) সূত্রটি লিখুন। কসি সূত্রের সত্যতা যাচাই করে দেখতে হলে পরীক্ষণ কিভাবে করতে হবে সংক্ষেপে বলুন।

(11) প্রিজ্‌ম্‌-বর্ণালিকে অমূলদ (irrational) কেন বলা হয় ?

(12) আপনি যে পরীক্ষণ সম্পাদন করেছেন সেটি কঠিন পদার্থের প্রিজ্‌ম্‌ নিয়ে করা হয়েছে। আপনাকে যদি কোনও স্বচ্ছ তরলপদার্থ দেওয়া হয় তাহলে কী ভাবে পরীক্ষণটি করবেন ?

(13) প্রিজ্‌মের প্রভেদন-ক্ষমতার (Resolving Power) সূত্র কী ? আপনার প্রিজ্‌মে এই প্রভেদন-ক্ষমতা কত পাওয়া যাবে গণনা করুন।

একক 12 ☐ অপবর্তন গ্রেটিং-এর $\sin\theta$–λ লেখচিত্র অঙ্কন ও অজ্ঞাত তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের মান নিরূপণ

12.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য

12.2 মূলগত তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

12.2.1 পরীক্ষণের কার্যক্রম

12.2.2 পরীক্ষণলব্ধ ফল

12.3 পরিশিষ্ট A : আলোকের উৎস

12.4 প্রশ্নাবলি

12.1 প্রস্তাবনা

গ্রেটিং বলতে কি বোঝায়, দেখা যাক। কোনও কঠিন বস্তুর সমতল পৃষ্ঠে বহুসংখ্যক সমান্তরাল, সমদূরবর্তী (equally spaced) এবং সদৃশ (similar) অথচ অতিক্ষীণ, সূক্ষ্ম রেখার আঁচড় (groove) কেটে নিলে গ্রেটিং সৃষ্টি হয়। আঁচড়গুলি কোনও সমবেধযুক্ত স্বচ্ছ পদার্থের (যথা কাচ) সমতল পৃষ্ঠে অঙ্কিত করা হলে গ্রেটিং-এ আপতিত আলোকরশ্মিগুলির নিঃসরণ (transmission) ঘটে—এজন্য এই গ্রেটিংকে বলা হয় সমতল নিঃসরণ গ্রেটিং (Plane Transmission Grating)। গ্রেটিং-এর আঁচড়গুলি অবশ্যই সমরূপ (identical) এবং পরস্পর সমদূরবর্তী হবে এটাই প্রধান শর্ত। দুটি আঁচড়ের মধ্যবর্তী স্বচ্ছ অংশের প্রসার সাধারণত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ λ থেকে বড় হয় তবে কারুকুশলতার (technological) সীমাবদ্ধতার জন্য 5λ থেকে বেশি বড়ো করা হয় না।

[বক্রতলের গ্রেটিং উৎপন্ন করা যায় এবং করা হয়ও তবে স্বচ্ছ বস্তু না নিয়ে ধাতব পৃষ্ঠে খোদাই করা হয়। প্রতিফলন গ্রেটিং এভাবে বহুল ব্যবহৃত। আপনারা যে গ্রেটিং ব্যবহার করবেন সেটিকে বলে (Replica Grating)—পরে আমরা আলোচনা করব।]

কল্পনা করুন যে আলোকের একটি সমতল তরঙ্গমুখ গ্রেটিং পৃষ্ঠে আপতিত হলো। এই তরঙ্গমুখের পৃষ্ঠতলে পৌনঃপুনিক ভাবে আঁকা আঁচড়গুলির প্রভাব পড়বে এভাবে—আঁচড়ের রেখাগুলি আপতিত আলোককে বিক্ষিপ্ত করবে। এগুলি কার্যকরভাবে অস্বচ্ছ রেখার মতো আচরণ করবে। দুটি অস্বচ্ছ রেখার মাঝের অংশ সরু রেখাছিদ্রের মতো আচরণ করবে। সমান্তরাল, সমদূরবর্তী রেখাছিদ্রের মধ্য দিয়ে আলোক তরঙ্গ নিঃসরণের সময় অপবর্তিত হবে। গ্রেটিংয়ের পরে একটি অভিসারী লেন্স বসিয়ে দিলে বিভিন্ন

দিকের অগ্রসরমান অপবর্তিত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ উপরিপাতের ফলে এর ফোকাসতলে নানাবিধ উজ্জ্বল ব্যতিচার আলোকরেখার সৃষ্টি করবে—যাকে আমরা বলি উৎসের গ্রেটিং বর্ণালি। উৎসে একবর্ণী আলোক ব্যবহৃত হলেও কিন্তু গ্রেটিং বর্ণালিতে নানাবিধ উজ্জ্বল একবর্ণী রেখা পাওয়া যাবে—এদের $0, \pm 1, \pm 2$ ধরণের ক্রমাঙ্ক (order number) দিয়ে সূচিত করা হয়।

বহুবর্ণী আলোক ব্যবহৃত হলে, গ্রেটিং বর্ণালি হবে বহুবর্ণী—এবং এর বিভিন্ন বর্ণের জন্য বিভিন্ন মানের কৌণিক দিকে রেখাগুলিকে পাওয়া যাবে।

আমাদের পরীক্ষণে কি কাজ আমরা করবো? প্রথমে সোডিয়াম ল্যাম্প ব্যবহার করে তার বর্ণালি অধ্যয়ন করব। D_1 এবং D_2-রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মানকে প্রমাণ ধরে নিয়ে গ্রেটিং-এর আঁচড়সংখ্যা স্থির করা হবে (প্রতি সেমি প্রসারে)। এ থেকে পাওয়া যাবে গ্রেটিং-এর দৈশিক পর্যায়দূরত্ব (space periodicity) 'd'—'গ্রেটিং পরিসর' (grating space) বা 'গ্রেটিং উপাদান' (grating element) বলে। দ্বিতীয় পর্যায়ে বহুবর্ণী আলোক উৎস নিয়ে তার প্রতিটি বর্ণের জ্ঞাত তরঙ্গসংখ্যার জন্য অপবর্তন কোণ θ'র মান মেপে যেতে হবে। এ থেকে আঁকা যাবে গ্রেটিং-এর $\sin\theta$-λ লেখ যা হবে ঋজুরেখ। তৃতীয় পর্যায়ে একটি অজানা মানের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কতটা অপবর্তন কোণ θ উৎপন্ন করে তা মাপতে হবে। তারপর লেখ থেকে λ'র মান নিরূপণ করে, সেটির মান কতটা নির্ভরযোগ্যতার সঙ্গে বলা যায় তা দেখতে হবে।

উদ্দেশ্য ঃ

আলোকের সমতল তরঙ্গ নিয়ে তার অপবর্তন ঘটানো হচ্ছে (একটি সমতলে অঙ্কিত সমদূরবর্তী আঁচড় সম্বলিত) গ্রেটিং-এর সাহায্যে। এর পরে লেন্স ব্যবহার করে গ্রেটিং বর্ণালিরেখাগুলির সনাক্তকরণ ও কোণ-পরিমাপ করা হচ্ছে স্পেক্ট্রোমিটারের সাহায্যে। অপবর্তন প্রক্রিয়াটি এখানে ফ্রাউনহোফার শ্রেণিতে (Fraunhofer Class) পড়ে। বর্ণালি রেখাগুলি কী কী বৈশিষ্ট্যে খণ্ডিত সেটা অধ্যয়ন করাই আমাদের উদ্দেশ্য।

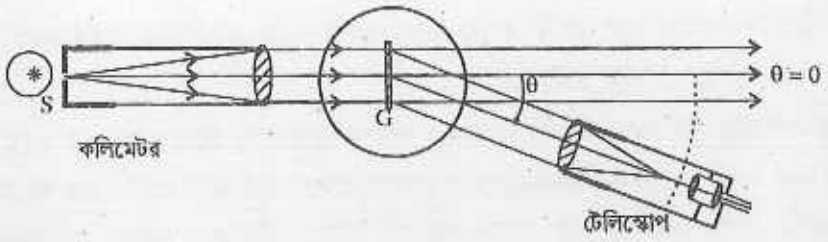
12.2 মূলগত তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

চিত্র 12a দ্রঃ। কোনও স্পেকট্রোমিটারের রেখাছিদ্র S থেকে উদ্ভূত আলোকরশ্মি সমান্তরাল হয়ে যখন সমতল গ্রেটিং G-তে আপতিত হয় তখন গ্রেটিং-এর আঁচড়গুলির অন্তর্বর্তী স্বচ্ছ অংশ থেকে বিভিন্ন দিকে অপবর্তিত আলোকের সমতল তরঙ্গ ছড়িয়ে পড়ে। টেলিস্কোপ-অভিলক্ষ্যের ফোকাস্তলে যখন এই রশ্মিগুলি মিলিত হয় তখন সেখানে S-এর বহুবিধ প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়। এই প্রতিবিম্বগুলিই একত্রে হচ্ছে গ্রেটিং বর্ণালি (grating spectrum)—যা একবর্ণী বা বহুবর্ণী হতে পারে। গ্রেটিং বর্ণালি মূলতঃ তিনটি প্রক্রিয়ার সমাহারে উদ্ভূত হয়—

(1) প্রতিটি স্বচ্ছ ফালিতে (strip) আলোকের অপবর্তন

(2) এই স্বচ্ছ ফালিতে সৃষ্ট তরঙ্গক (wavelet) গুলির পারস্পরিক ব্যতিচার, এবং

(3) পর্যবেক্ষণ ব্যবস্থার দ্বারকে (aperture) আলোকের অপবর্তন। গ্রেটিং-এর উন্মুক্ত অংশের থেকে টেলিস্কোপ-অভিলক্ষ্যের বৃত্তাকার পরিধির উন্মুক্ত ব্যাস সাধারণত ছোটো হয় বলে, এই অভিবস্তুর কিনারাই দ্বারকের ভূমিকা নেয়।



চিত্র 12.a

গ্রেটিং সমতলের অভিলম্ব বরাবর আপতিত সমতল তরঙ্গের ক্ষেত্রে $\pm\theta$ এই কৌণিক দিকে অপবর্তিত আলোকের প্রাবল্য হবে,

$$I(\theta) = I_0\left(\frac{\sin^2\beta}{\beta^2}\right)\left(\frac{\sin^2 N\gamma}{\sin^2\gamma}\right) \quad \ldots\ldots$$

I_0 = সম্মুখ দিকের $(\theta = 0)$ আলোক প্রাবল্য

এখানে N = গ্রেটিং-এর আলোকিত অংশের মোট আঁচড় সংখ্যা

$\beta = (\pi a \sin\theta)/\lambda$, a = স্বচ্ছ ফালির বেধ

$\gamma = (\pi d \sin\theta/\lambda)$, d = গ্রেটিং পরিসর (grating space)

সন্নিহিত দুটি স্বচ্ছ ফালির অনুরূপ বিন্দুদ্বয়ের দূরত্ব হচ্ছে এই 'd'. 'a'-এর মান যথেষ্ট ক্ষুদ্র [2 বা 3μ (মাইক্রন $= 10^{-4}$cm) থেকে 0.1μ বা তারও কম হয়ে থাকে।]

ফলে $\left(\sin^2\beta/\beta^2\right) \approx 1$ হয়। এজন্য

$$I(\theta) = I_0\frac{\sin^2(N\gamma)}{\sin^2\gamma}$$

যখন, $\gamma = m\pi$, $m = 0, \pm1, \pm2, \pm3, \ldots$

তখন $I(\theta)$–র মান চরমে ওঠে। এগুলিকে বলা হয় আলোকপ্রাবল্যের মুখ্য চরমশীর্ষ (principal maxima)*

* কেননা m-এর পর পর দুটি পূর্ণসংখ্যক মানের অন্তর্বর্তী (N-2) সংখ্যক মানের জন্যও $I(\theta)$ চরমমান প্রাপ্ত হয়। তবে শেষোক্ত এই চরমমানগুলি এত ক্ষীণ প্রাবল্যের হয়ে থাকে যে এদের গৌণ চরমশীর্ষ (secondary maxima) বলা হয়।

m-তম ক্রমাঙ্কের (order number) বর্ণালিরেখার (অর্থাৎ মুখ্য চরমশীর্ষের) অবস্থান θ_m দিয়ে প্রকাশ করা হলে, $\gamma = \frac{\pi}{\lambda}(d \sin\theta_m) = m\pi$

অর্থাৎ $d \sin\theta_m = m\lambda,\ m = 0, \pm1, \pm2, \pm3, \ldots$

এটিই গ্রেটিং-এর সমীকরণ। যদি 1 cm দৈর্ঘ্যে N′ সংখ্যক আঁচড় কাটা হয় তাহলে N′d = 1

পরীক্ষণে ব্যবহৃত আলোকের θ_m-এর মান থেকে যদি $\sin\theta_m - m$ লেখ অংকন করা হয় তাহলে সেটি হবে ঋজুরেখ, যার নতি λ/d, একটি নির্দিষ্ট λ'র ক্ষেত্রে। অতএব, λ'র মান জানা থাকলে নতিমান থেকে d-এর মান পাওয়া যাবে। d-র মান জানা হয়ে গেলে গ্রেটিং-এর সাহায্য নিয়ে অজ্ঞাতমানের λ-নিরূপণ সহজেই করা যায়।

যন্ত্রাদি ঃ (1) একটি স্পেকট্রোমিটার (যার অংশাঙ্কন অন্তত 20′′) এবং আনুষঙ্গিক ব্যবস্থা

(2) সমতল নিঃসরণ গ্রেটিং

(3) প্রিজ্‌ম্‌

(4) আলোকউৎস ঃ সোডিয়াম বাষ্পের ল্যাম্প, He-মোক্ষণ নল, Ne-এর মোক্ষণ নল

12.2.1 পরীক্ষণের কার্যক্রম

1. স্পেকট্রোমিটার যন্ত্রটি যথানিয়মে লেভেল করুন। একটি প্রিজম ও সোডিয়াম ল্যাম্প ব্যবহার করে শুস্টার পদ্ধতিতে কলিকেটর ও টেলিস্কোপ সমন্বয়িত করে নিন যাতে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ কলিমেটর থেকে যথাযথভাবে নির্গত হয়। [পরীক্ষণ 11 অংশে এ সম্বন্ধে বিশদভাবে বলা হয়েছে—সেটা অনুসরণ করুন।] প্রিজ্‌ম্‌ সরিয়ে নিন।

2. চক্রাকার স্কেলের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করুন।

3. কলিমেটরের রেখাছিদ্র বেশ চওড়া করে নিন। টেলিস্কোপের অভিনেত্রটি খুলে নিয়ে টেলিস্কোপটি কলিমেটরের অক্ষের সঙ্গে সমরেখ করুন এবং নলের ভিতর দিয়ে তাকিয়ে আলোকউৎসটিকে দৃষ্টি রেখার ডাইনে বা বাঁয়ে সরিয়ে এমনভাবে বসান যেন সমধিক আলোক টেলিস্কোপে সরাসরি আসে। এবার অভিনেত্রটি স্বস্থানে রাখুন। কলিমেটরের রেখাছিদ্র বেশ সরু করে দিন। এবার টেলিস্কোপের সমাক্ষ অবস্থানে পাঠ ϕ_0^A, ϕ_0^B নিয়ে নিন।

4. গ্রেটিংটি প্রিজ্‌ম্‌ টেব্‌লে বসান যাতে মোটামুটিভাবে এর সমতল উল্লম্ব (vertical) হয়। গ্রেটিং-এর কেন্দ্রাংশ যেন কলিমেটরের অক্ষের উপর পড়ে এভাবে এটিকে রাখতে হবে, অর্থাৎ বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদের আলোকগুচ্ছ যেন প্রতিসমভাবে এর কেন্দ্রাঞ্চল আলোকিত করে। এবার আপনাকে নিশ্চিত হতে হবে যেন—

(i) গ্রেটিং সমতলে স্পেকট্রোমিটারের উল্লম্ব অক্ষটি যেন থাকে।

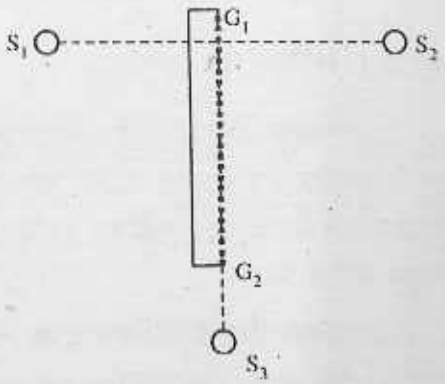
(ii) কলিমেটর থেকে নির্গত আলোকরশ্মিগুচ্ছ (যার প্রস্থচ্ছেদ বৃত্ত) গ্রেটিং-এর আঁচড়কাটা অংশের কেন্দ্রে লম্বভাবে আপতিত হয়।

(iii) আঁচড়গুলি আবর্তন অক্ষের সমান্তরাল হয়। এবং

(iv) আলোক উৎসের রেখাছিদ্রটি যেন আঁচড়রেখাগুলির সমান্তরাল হয়।

5. উপরের শর্তাবলী পূরণ করার জন্য নিম্নলিখিত প্রক্রিয়াগুলি অনুসরণ করতে হবে ঃ—

বর্তমানে সর্বত্রই প্রতিরূপ গ্রেটিং (replica grating) ব্যবহৃত হয়। আঁচড়কাটা অংশের দুপাশে খুব পাতলা কাচের প্লেট লাগানো থাকে যাতে আঁচড়গুলি বাইরের আঘাতে বা হাত লেগে নষ্ট না হয় এবং ধূলিকণা, ময়লা প্রভৃতি থেকে দূরে থাকে। গ্রেটিং-এর মধ্যবর্তী তলটি প্রিজ্‌ম্‌ টেব্‌লের লেভেলিং স্ক্রু S_1 এবং S_2-র সংযোগকারী সরলরেখার সমকোণে এবং টেবিলের কেন্দ্রগামী করে বসান (চিত্র 12f), যাতে কলিমেটরের আলোকরশ্মি এর কেন্দ্রস্থলে পড়ে। টেলিস্কোপটিকে $(\phi_0^{\wedge} + 90°)$ অথবা $(\phi_0^{\wedge} - 90°)$ অবস্থানে বসাতে হবে। এবার প্রিজ্‌ম্‌ টেব্‌ল ঘুরিয়ে যান যাতে G_1G_2 তলটি থেকে প্রতিফলিত আলোক টেলিস্কোপে প্রবেশ করে। প্রয়োজন হলে S_1-কে ঈষৎ ঘোরাবেন যাতে টেলিস্কোপের অনুভূমিক ক্রস্‌তারটি রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বকে ঠিক দ্বিখণ্ডিত করে। এবার প্রিজ্‌ম্‌ টেব্‌ল 180° কোণে ঘোরান। এখন প্রতিফলিত রশ্মি G_1G_2-র অন্য পাশ থেকে আসবে। প্রয়োজনে S_2 ঘোরান যাতে টেলিস্কোপের অনুভূমিক ক্রস্‌তারটি আবার রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বকে ঠিক দ্বিখণ্ডিত করে। এই প্রক্রিয়া দুটি কয়েকবার পুনরাবৃত্তি করতে হবে যাতে গ্রেটিং-এর দুই অবস্থানেই রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব যথার্থ দ্বিখণ্ডিত হয় অর্থাৎ দৃষ্টিক্ষেত্রের কেন্দ্রস্থলে অবস্থিত হয়। এই সমন্বয়ন ঠিক হলে গ্রেটিং-এর সমতলটি যে স্পেকট্রোমিটার অক্ষের সমান্তরাল হয়েছে তা প্রমাণিত হয়। এবার গ্রেটিংসহ প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌ল খুব সন্তর্পণে ঘুরিয়ে যান যাতে রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বটি ক্রস্‌তারের কেন্দ্রস্থলে আসে।



চিত্র 12.b

প্রিজ্‌ম্‌-টেব্‌লের পাঠ (ধরুন α) নিন এবং এটিকে সঠিক $(\alpha + 45°)$ অথবা $(\alpha + 135°)$ কোণে ঘোরান। ঘোরানো শেষ হলে গ্রেটিং-এর সমতল কলিমেটরের রশ্মিগুচ্ছের সমকোণে হবে। এবার সুনিশ্চিত হতে পারেন যে উপরে উল্লিখিত (i) এবং (ii)-এর সমন্বয়ন ঠিক হয়েছে।

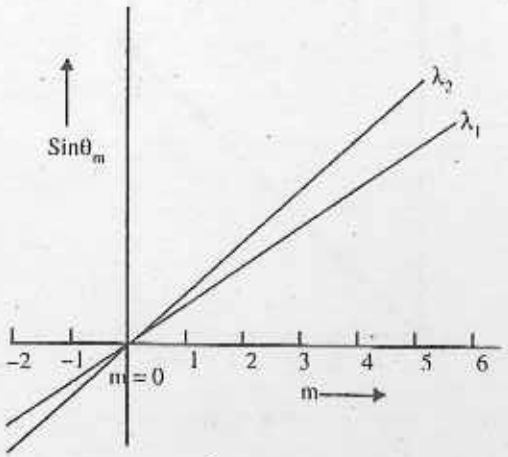
এবার টেলিস্কোপ ঘুরিয়ে এনে কেন্দ্রীয় চরম রেখার $(m = 0)$ দুপাশে বিভিন্ন ক্রমের বর্ণালিরেখাগুলি পর্যবেক্ষণ করুন। যদি সব রেখাগুলি অনুভূমিক ক্রস্‌তার দ্বারা দ্বিখণ্ডিত হয়েছে মনে না হয় তাহলে S_3-স্ক্রু ঈষৎ ঘুরিয়ে সেটা ঠিক করে নিন। এভাবে উপরিলিখিত (iii)-এর শর্ত পূর্ণ হলো।

এরপর স্পেকট্রোমিটারের রেখাছিদ্রটিকে স্বীয় সমতলে আবর্তিত করে দেখুন বর্ণালিরেখাগুলি স্পষ্টতর

হচ্ছে কি না। এগুলি যখন সুস্পষ্ট মনে হবে জানবেন (iv)-এ উল্লিখিত শর্তটি পূরিত হল। এবার রেখাছিদ্রের বেধ কমিয়ে বা বাড়িয়ে নিন যাতে সব কটি ক্রমের বর্ণালি রেখাই দৃশ্যমান অথচ সুসংজ্ঞাত ও প্রকৃষ্ট (optimum) বেধবিশিষ্ট হয়।

6. সোডিয়াম রেখাদ্বয়ের বর্ণালি পর্যবেক্ষণ—

সোডিয়াম বাষ্পল্যাম্প ব্যবহারকালে দুটি হলুদ রেখা দেখা যায় যাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য সামান্য (মাত্র 6Å এর কাছাকাছি)—একটিকে বলা হয় D_1, অন্যটি D_2; যে রেখাটি কেন্দ্রীয় চরম রেখার নিকটতর (প্রথম ক্রমাঙ্কে) সেটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_1 স্পষ্টতই কম মানের, অর্থাৎ এটি D_2-রেখা ($\lambda_1 \approx 5890\Lambda$)। বর্ণালির দৃশ্যমান সর্বাধিক ক্রমের বাঁদিকের রেখায় (ধরুন $m=-7$) ক্রস্‌তার স্থাপন করুন, এবং গুণে ঠিক করুন এটি D_1-রেখার ($\lambda_2 \approx 5896$Å) কোন্ ঋণাত্মক ক্রমের বর্ণালিরেখাটি। ক্রমশঃ টেলিস্কোপ ঘুরিয়ে



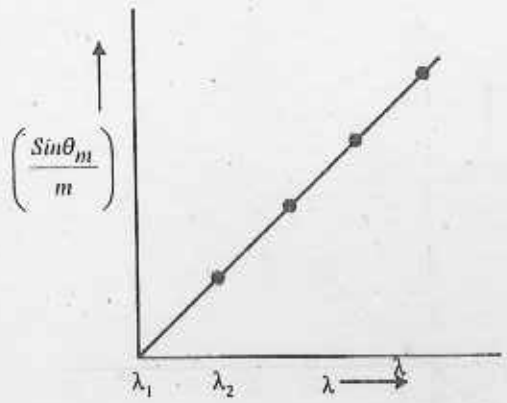
চিত্র 12.c

একের পর এক D_1 এবং D_2 রেখার বিভিন্ন ক্রমের বর্ণালি রেখায় ক্রস্‌তার স্থাপন করুন এবং পাঠ নিন। মাঝে কেন্দ্রীয় চরমরেখার পাঠটিও নিয়ে নিন ($m=0$) (পূর্বের নেওয়া পাঠের সঙ্গে সংগতি আছে কি না দেখা কর্তব্য—অসংগতি থাকলে তা কিভাবে হলো ভাবনেন)। এবার টেলিস্কোপ ক্রমশঃ ডানদিকে সরিয়ে $m=+1, +2, +3, \ldots$ প্রভৃতি ক্রমে D_1, D_2 রেখাদ্বয়ের পাঠ নিতে হবে। এই পাঠগুচ্ছ ডান দিক থেকে বাঁদিকে ফিরে আবার নিতে হবে। ধরা যাক m ক্রমে λ_1-এর পাঠ হলো ϕ_m এবং ϕ_{-m} ; তাহলে m ক্রমের জন্য $\phi_m \sim \phi_{-m} = 2\theta_m$; বিপরীত ক্রমে এটি $2\theta'_m$ হলে m ক্রমের গড় পাঠ $\bar{\theta}_m = \frac{1}{2}(\theta_m + \theta'_m)$। লক্ষ্যণীয় যে $\phi_m \sim \phi_0 = \phi_{-m} \sim \phi_0$ হবে। না হলে বুঝবেন আপতন কোণের মান যথার্থ শূন্যমান হয় নি।

$\sin\bar{\theta}_m - m$ লেখ আঁকলে যে দুটি সরলরেখা (চিত্র 12c) পাওয়া যাবে তারা মূলবিন্দুগামী হবে ; এদের নতি থেকে λ_1/d এবং λ_2/d-র মান পাওয়া যাবে। এ থেকে d-র গড় মান পাওয়া যাবে যেটা পরবর্তী পরীক্ষণে আমরা ব্যবহার করব।

7. বহীবর্ণী আলোকের বর্ণালি-বীক্ষণ—

হিলিয়াম মোক্ষণ নল ব্যবহার করে রেখাছিদ্র আলোকিত করুন। হিলিয়ামের বিভিন্ন রঙের জন্য তরঙ্গ দৈর্ঘ্যগুলি প্রমাণ সারণি থেকে দেখে নিতে হবে। হিলিয়াম নল ব্যবহারের সুবিধে এই—এতে অনেকগুলি বিচ্ছিন্ন রেখা একত্র পাওয়া যায়। হিলিয়াম না পাওয়া গেলে অন্যান্য নল ব্যবহার করে বা সাদা আলোর উৎস নিয়ে বিভিন্ন ফিল্টার ব্যবহার করা চলে। প্রতিটি রেখার জন্য বিভিন্ন ক্রমের কোণগুলি পরিমাপ করতে হবে। গড় θ_m গণনা করে $[\sin\theta_m / m]$ এর মান বিভিন্ন λ-র মানের সঙ্গে লেখচিত্রিত করলে 'sinθ–λ' লেখ (চিত্র 12 d) সম্পূর্ণ হবে [প্রসঙ্গত উল্লেখ্য, 'sinθ–λ' বলে দিলে যতদূর বেশী অন্তত দুটি ক্রমের অপবর্তন কোণের মান নির্ণয় করতে হবে]।



চিত্র 12.d

8. অজ্ঞাতমানের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান নিরূপণ—

যে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান আমাদের আঁকা লেখ-এ সরাসরি নেই, এমন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি রেখা বেছে নিতে হবে। মনে করুন $\lambda_1 < \lambda_2 < .... < \lambda_8$ এই ক্রমে আটটি বিন্দু লেখ-এ সংস্থাপিত। অজ্ঞাত রেখাটির λ-মান এই পরিসরে হওয়াই বাঞ্ছনীয়, তবে পরিসরের বাইরে হলেও, $d \sin\theta_m = m\lambda$ সূত্রটি যেহেতু সর্বত্রই প্রযোজ্য (কেবল $m\lambda < d$ হতে হবে) ঋজুরেখ রেখটির সন্তত অংশের বহির্কলন (extrapolate) করে বিন্দু-অঙ্কিত সরলরেখা এঁকে নিয়ে তা থেকে লব্ধ ($\sin\theta_m/m$) মানের সঙ্গে সংযুক্ত λ–মান স্থির করতে হবে।

12.2.2 পরীক্ষণলব্ধ ফল

সারণি 1 : স্পেকট্রোমিটার ভার্নিয়ার স্থিরাংক নির্ণয় (একক 11 দ্রঃ)

সারণি 2 : টেলিস্কোপের সমাক্ষ অবস্থানে পাঠ ; ϕ_0 (সারণি নিজে করে নিন)

সারণি 3 : টেলিস্কোপের +90° অবস্থানের পাঠ হবে : $\phi_0 + 90° = ...° ...' ...''$

প্রিজ্‌ম্ টেব্‌লের "+45°" অবস্থানের পাঠ $= \alpha = ...° ...' ...''$

∴ প্রিজ্‌ম্‌ টেব্‌লের 0°-অবস্থানের পাঠ $= \beta = \alpha + 45° 0' 0''$

অথবা $\beta' = \alpha + 135° 0' 0''$

সারণি 4 : D_1, D_2 রেখাদুটির জন্য পাঠ : d-নির্ণয়

ভার্নিয়ার স্থিরাংক =...

বর্ণালি রেখার ক্রমসংখ্যা m	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	A ভার্নিয়ারের পাঠ					B ভার্নিয়ারের পাঠ				
		মূল স্কেল পাঠ ° ′ ″	ভাঃ পাঠ	ভাঃ পাঠের মান ° ′ ″	মোট পাঠ ° ′ ″	গড় পাঠ ϕ_m(A) ° ′ ″	মূল স্কেল পাঠ ° ′ ″	ভাঃ পাঠ	ভাঃ পাঠের মান ° ′ ″	মোট পাঠ ° ′ ″	গড় পাঠ ϕ_m(B) ° ′ ″
-X	1. *a* → *b* (D_1)← *c* → *d* ←										
	1. *a* → (D_2) b *c* → *d* ←										
-X+1	2. *a* → (D_1) b ← *c* → *d* ←										
-X+1	2. *a* → (D_2) b ← *c* → *d* ←										
. . . +X +X	. . . (D_1) (D_2)										

সারণি 5 : লেখ অঙ্কনের উপাত্ত (এটি সহজ, নিজে করে নিন)

সারণি 6 : সারণি 4-এর গণনা

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ক্রম সংখ্যা m	ϕ_m(A) ° ′ ″	ϕ_{-m}(A) ° ′ ″	ϕ_m(B) ° ′ ″	ϕ_{-m}(B) ° ′ ″	$2\theta'_m = \phi_m$(A)~ ϕ_{-m}(A) ° ′ ″	$2\theta''_m = \phi_m$(B)~ ϕ_{-m}(B) ° ′ ″	$4\theta_m = 2\theta'_m + 2\theta''_m$ ° ′ ″	θ_m ° ′ ″	$\sin\theta_m$	$\frac{\sin\theta_m}{m}$
1. (D_1)	1										
1. (D_2)	1										
2. (D_1)	2										
2. (D_2)	2										
.	.										
.	.										
.	.										
6. (D_1)	6										
6. (D_2)	6										

সারণি 7 : অজ্ঞাত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য পাঠ (সারণি 4-এর অনুরূপ হবে, এজন্য আর পুনর্লিখিত হল না)

সারণি 8 : সারণি 7-এর গণনা (সারণি 6-এর অনুরূপ)

12.3 পরিশিষ্ট A : আলোকের উৎস

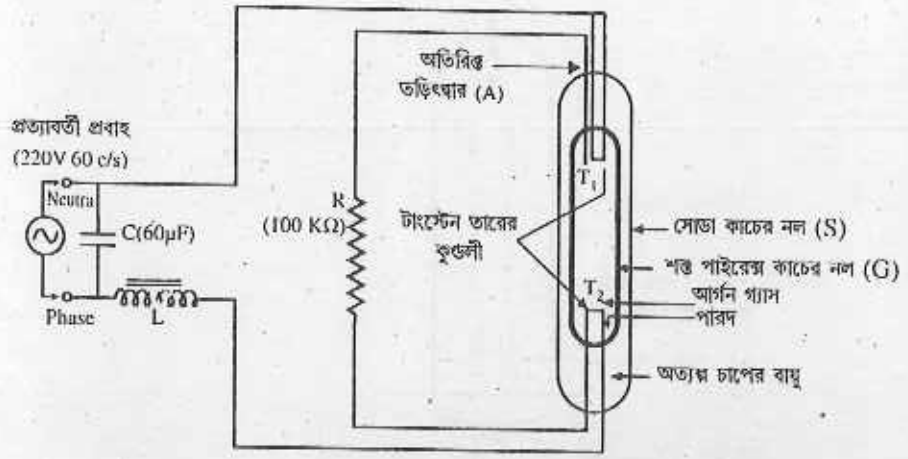
আমরা এখানে তড়িৎ-মোক্ষণ নলের কথাই শুধু আলোচনা করব।

(i) পারদ বাষ্প ল্যাম্প

মূলত একটি শক্ত কাচের তৈরি মোক্ষণ নল G, একটি সাধারণ কাচের তৈরি বহিরাবরণের (S) ভিতর বসানো থাকে। মোক্ষণ নলের ভিতর অল্প চাপের কোনও নিষ্ক্রিয় গ্যাস (যথা আর্গন, 10 টর্* চাপে) এবং সযত্নে নিয়ন্ত্রিত পরিমাণের পারদ রক্ষিত থাকে। G নলের দুই প্রান্তে দুটি টাংস্টেন তারের কুণ্ডলী T_1, T_2

* এটি স্বল্প চাপের পরিমাপে ব্যবহৃত আধুনিক একক ; 1 Torr = 1 mm of Hg; বিজ্ঞানী তোরিচেল্লির (Torricelli) সম্মানার্থে গৃহীত এই এককটি।

(অল্প বেরিয়াম অক্সাইডের প্রলেপযুক্ত) সন্নিবেশিত থাকে ; মোক্ষণ শুরু করার জন্য একটি অতিরিক্ত তড়িদ্বার A যুক্ত থাকে। G এবং S-এর অভ্যন্তরভাগ বায়ুশূন্য করা হয় যাতে মোক্ষণ চলাকালে উদ্ভূত তাপ অযথা বাইরে পরিবাহিত না হয়ে যায় এবং মোক্ষণ স্তম্ভের উষ্ণতা একটি ধ্রুবমানে স্থির থাকে। সাধারণ কক্ষ উষ্ণতায় পারদের বাষ্পচাপ অত্যন্ত কম ($\sim 10^{-3}$ টর্ মাত্র) ; ফলে T_1, T_2 তড়িৎদ্বার দুটিতে বিভবপ্রভেদ



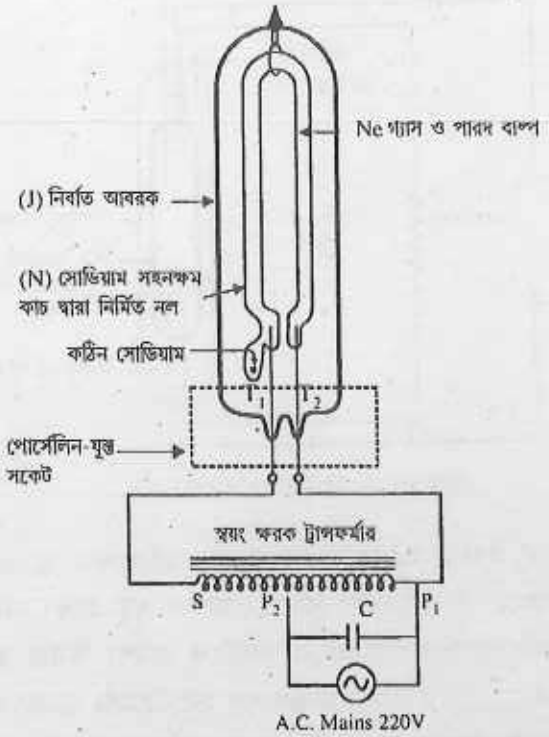
চিত্র 12.e : পারদ বাষ্প ল্যাম্প

প্রযুক্ত হলে মোক্ষণ শুরু হয় না—T_1 এবং A-র নৈকট্য হেতু সেখানে তড়িৎক্ষেত্র (E volts/cm) বেশি মানের এবং G নলে আর্গন গ্যাস থাকায় ঐ তড়িৎদ্বার দুটিতে মোক্ষণ শুরু হবে। আর্গন গ্যাসের ভূমিকা এটাই—মোক্ষণ চালু করা। আর্গন গ্যাসের তড়িৎপ্রবাহ নলটিকে ক্রমশঃ উত্তপ্ত করে ফেলে, পারদের বাষ্পচাপ বেড়ে যায় এবং তখন T_1, T_2-র মধ্যে মোক্ষণ শুরু হয়। ক্রমশঃ G নল বেশ উত্তপ্ত হয় এবং পারদের বাষ্পচাপ বেড়ে গিয়ে অন্তিম পর্যায়ে বায়ুমণ্ডলীয় চাপের দু-তিন-গুণ পর্যন্ত হতে পারে (এটা নলের অভিকল্প—design—অনুযায়ী হবে)। R রোধটি মোক্ষণপ্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করে থাকে এবং L এই স্থাবেশ কুণ্ডলীর মান অনুযায়ী মোট প্রবাহের মান সীমিত হয়। C-ধারক দেওয়ার প্রয়োজন হয় মোক্ষণপ্রবাহ সুস্থিত (steady) করার জন্য। মাত্র কয়েক সেকেণ্ড সময়েই মোক্ষণপ্রবাহ সুস্থিত অবস্থায় নীত হয় ; উজ্জ্বল স্তম্ভ থেকে পারদের বিশিষ্ট আলো নির্গত হয়ে থাকে এবং আর্গনের বর্ণালির থেকে এর ঔজ্জ্বল্য বহুগুণে বেশি হয়। চলমান অবস্থায় মোক্ষণ নলের উষ্ণতা প্রায় 600°C এবং চাপ প্রায় 1 atm হয়ে থাকে ; T_1, T_2-র তড়িৎবিভবের প্রভেদ প্রায় 180 volt পর্যন্ত নেমে যেতে পারে।

(ii) সোডিয়াম বাষ্পের ল্যাম্প (চিত্র 12f দ্রঃ)

সোডিয়াম দ্বারা আক্রান্ত হবে না এমন কাচ দিয়ে N এই U-আকৃতি নলটি প্রস্তুত করা হয়ে থাকে ; এর এক প্রান্তের পাশে নলাগ্র সামান্য বেঁকিয়ে একটি সোডিয়াম ধাতুর আধার তৈরি করা থাকে, যাতে কঠিন ধাতব সোডিয়াম রাখা হয়। এই নলের বাষ্পচাপ কয়েক টর্ (Torr) পরিমাণ এবং অল্প পরিমাণ নিয়ন (নিষ্ক্রিয় গ্যাস) এতে প্রবিষ্ট করানো হয়। অতএব নলে প্রথমে স্বল্প চাপে সোডিয়াম বাষ্প এবং নিয়ন গ্যাস

উপস্থিত থাকে। N নলের বাইরের আবরণ J একটি নির্বাতকৃত নল যার কাজ হলো N নল থেকে পরিবহণজনিত তাপক্ষয় কমানো এবং নলের উষ্ণতা সুস্থিত মানে স্থির রাখা। T_1, T_2 তড়িৎদ্বার দুটি N নলের দুই প্রান্তে যুক্ত। যখন প্রত্যাবর্তী প্রবাহের উৎস 220 volt (60c/s) থেকে বিভবপ্রভেদ স্বয়ংক্ষরক ট্রান্সফর্মারের (autoleak transformer) P_1, P_2 এই প্রাথমিক অংশে প্রযুক্ত হয়, তখন P_1 ও S প্রান্তদ্বয়ে



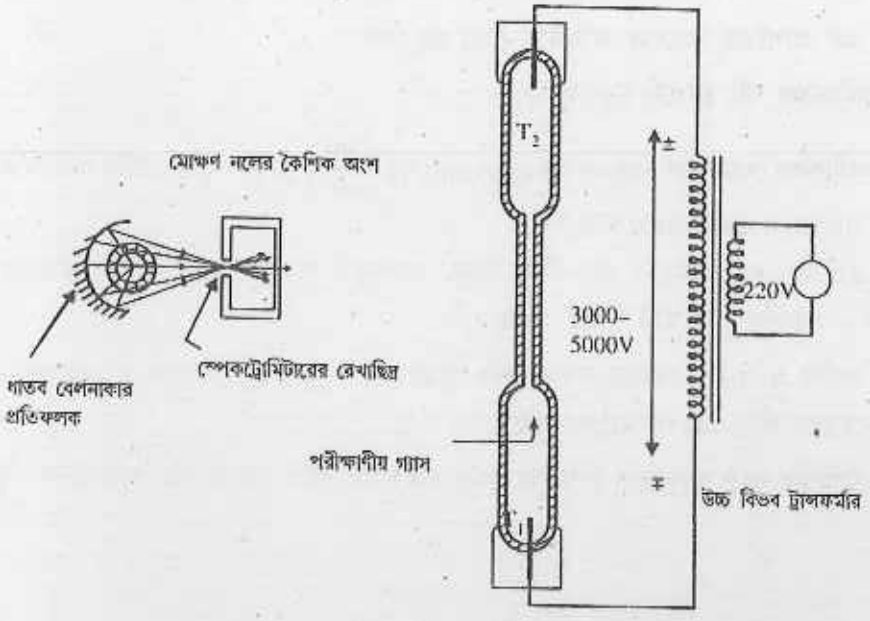
চিত্র 12.f : সোডিয়াম বাষ্পের ল্যাম্প

উদ্ভূত গৌণকুণ্ডলীর ভোল্টেজ (secondary voltage, যা প্রায় 440 volt হওয়া প্রয়োজন হয়) T_1 এবং T_2 তড়িদ্বারে প্রযুক্ত হবে। N-নলের উপস্থিত স্বল্প চাপের নিয়ন গ্যাস এতে মোক্ষণ শুরু করবে এবং নিয়নের মোক্ষণস্তম্ভ (যার রঙ লাল) দেখা যাবে। মোক্ষণপ্রবাহের জন্য উদ্ভূত তাপে ক্রমশঃ কঠিন সোডিয়াম বাষ্পীভূত হবে এবং অধিক পরিমাণ সোডিয়াম বাষ্পের উপস্থিতিতে এবার সোডিয়াম বাষ্পের মোক্ষণ শুরু হবে। সোডিয়ামের আধিক্য হেতু মোক্ষণস্তম্ভের রঙ হয়ে যাবে হলুদ, যা সোডিয়ামের পরমাণুগত বর্ণালির বিশিষ্ট রঙ। সাম্যাবস্থায় নলের উষ্ণতা প্রায় 280°C পর্যন্ত হয় এবং বাষ্পচাপ পারদের কয়েক সেন্টিমিটার পর্যন্ত বাড়ে। (এটি নলের অভিকল্পন অনুযায়ী হবে) ; T_1 ও T_2-র মধ্যবর্তী বিভবপ্রভেদ ক্রমশঃ কমে এসে একটি মানে স্থিতিলাভ করে।

(iii) হাইড্রোজেন, হিলিয়াম, নিয়ন প্রভৃতি বিভিন্ন গ্যাসের মোক্ষণ নল (চিত্র 12g দ্রঃ)

এগুলি আকারে অপেক্ষাকৃত ছোটো হয় ; এর কেন্দ্রাংশে সচরাচর কৈশিক নলের একটি অংশ থাকে

যাতে মোক্ষণস্তম্ভের প্লাজ্‌মার ঘনত্ব এই অংশে সর্বাধিক হয় এবং ফলে আলোকের ঔজ্জ্বল্য বেশি পাওয়া যায়। অ্যালুমিনিয়াম বা অন্য কোনও চকচকে ধাতব পাতের বেলন প্রস্তুত করে (উপযুক্ত বক্রতাব্যাসার্ধ হতে হবে) সেটি ঐ কৈশিক নলাংশের বাইরে এক অর্ধাংশে বসানো হয় যাতে নলোদ্ভূত আলোকের একাংশ প্রতিফলিত হয়ে স্পেকট্রোমিটারের রেখাছিদ্রে সংহত হতে পারে।



চিত্র 12.g : গ্যাস-মোক্ষণ নলের ব্যবহার

কৈশিক মোক্ষণ নলের দুই প্রান্তদ্বার T_1, T_2-তে উচ্চবিভবযুক্ত প্রত্যাবর্তী প্রবাহ চালনা করা হয়; সাধারণত একটি উচ্চবিভব ট্রান্সফর্মার (প্রাথমিক কুণ্ডলীর বিভব 220 V A. C. এবং গৌণ কুণ্ডলীর 3000V-5000V A.C.) মেইন্‌স্‌-এর সঙ্গে যুক্ত করে এই কাজ করা হয়। (অনেক পরীক্ষণাগারে যেখানে রূম্‌কর্ফ্‌ কুণ্ডলী আছে সেখানে T_1, T_2 কে ঐ কুণ্ডলীর প্রান্তভাগেও যোগ করা হয়। সেক্ষেত্রে বিভব হবে একমুখী (unidirectional), প্রত্যাবর্তী নয়)।

12.4 প্রশ্নাবলি

(1) গ্রেটিং কী কী ধরনের হয়?

(2) প্রতি একক তরঙ্গদৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা বৃদ্ধি বা হ্রাসে কী হবে? কোনটির উপযোগিতা বেশি?

(3) X-রশ্মির ব্যবহারে এই গ্রেটিংএ অপবর্তন সম্ভব কী না কারণ সহ উল্লেখ করুন।

(4) গ্রেটিং-এর কোন তলে আঁচড় কাটা আছে তা কীভাবে নিরূপণ করবেন?

(5) দুটি স্পেকট্রোমিটারের একটির ভার্নিয়ার ধ্রুবক 30 sec এবং অপরটির 1 মিনিট, কোনটি বেশি উপযোগী ?

(6) এই পরীক্ষা ব্যবস্থায় একদিকে 5টি বর্ণালি ক্রম এবং অপরদিকে 4টি বর্ণালিক্রম পাওয়া গেলে তার কারণ কী হতে পারে। কীভাবে এই ত্রুটি দূর করবেন ?

(7) গ্রেটিং-তল আপতিত আলোর অভিলম্বে রাখা হয় কেন ?

(8) দুটি ভার্নিয়ারের পাঠ নেওয়া হয় কেন ?

(9) গ্রেটিং-সমীকরণ থেকে এর বিচ্ছুরণ (dispersion) সূত্র $\left(\frac{d\theta}{d\lambda}\right)$ লিখুন। কেন গ্রেটিং বর্ণালিকে আদর্শ বর্ণালি (normal spectrum) বলে ?

(10) গ্রেটিং-এর প্রভেদন ক্ষমতার মান স্থির করুন। আপনার ব্যবহৃত গ্রেটিং-এ তা কীভাবে গণনা করবেন ? সর্বাধিক কত মান পাওয়া সম্ভব ?

(11) প্রিজ্‌ম-বর্ণালি ও গ্রেটিং-বর্ণালির তুলনামূলক আলোচনা করুন : (1) বিচ্ছুরণ (2) প্রভেদন-ক্ষমতা (3) ব্যবহারের সীমা (4) পরিমাপের সূক্ষ্মতা।

(12) স্পেকট্রোমিটার যন্ত্রে আপতিত রশ্মিগুচ্ছ কেন সমান্তরাল করে নেওয়া হয়, আলোচনা করুন।

একক 13 ❐ মিটার ব্রিজের সাহায্যে রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক নির্ণয়

গঠন

13.1 প্রস্তাবনা

13.2 উদ্দেশ্য

13.3 প্রয়োজনীয় যন্ত্রাদি

13.4 পরীক্ষার মূলতত্ত্ব

13.5 পরীক্ষা পদ্ধতি

13.6 পরীক্ষালব্ধ ফল-উপাত্ত সারণি ও গণনা

13.7 সাবধানতা

13.8 সারাংশ

13.9 প্রশ্নাবলি ও উত্তরমালা

13.1 প্রস্তাবনা

উষ্ণতার পরিবর্তনে সব পরিবাহীরই রোধের পরিবর্তন হয়। সমস্ত বিশুদ্ধ ধাতুর ও অধিকাংশ সংকর ধাতুর ক্ষেত্রে উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে রোধের বৃদ্ধি হয়। কয়েকটি সংকর ধাতু যেমন ম্যাঙ্গানিন, কনস্ট্যানটান ইত্যাদির উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে রোধ বৃদ্ধি খুব কম হয়। প্রমাণ রোধক (standard resistor) তৈরির ক্ষেত্রে বা যেসব বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতিতে রোধের মান স্থির রাখা প্রয়োজন সে সব ক্ষেত্রে এই সব সংকর ধাতু ব্যবহার করা হয়।

আবার যে সব ধাতু তড়িতের সুপরিবাহী অথচ উত্তপ্ত হওয়ায় বা পুনরায় ঘরের উষ্ণতায় ফিরে আসার পর কোনো স্থায়ী ভৌত পরিবর্তন হয়না, সে সব ধাতুর তার কুণ্ডলীর সাহায্যে রোধ থার্মোমিটার (resistance thermometer) তৈরি করা হয়। প্লাটিনাম, রূপা, নিকেল ইত্যাদি এ ধরনের নির্ভরযোগ্য ধাতু।

কার্বন, তড়িৎ বিশ্লেষ্য, অর্ধপরিবাহী, কিছু কিছু অন্তরক যেমন কাচ ইত্যাদির ক্ষেত্রে উষ্ণতা বাড়ালে রোধ কমে যায়।

ধাতব পরিবাহীর ক্ষেত্রে উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য রোধের পরিবর্তন অধিবৃত্তীয় (parabolic) হয়, এক্ষেত্রে $\theta^\circ C$ উষ্ণতায় রোধ R_θ হলে,

$$R_\theta = R_0(1 + \alpha\theta + \beta\theta^2)$$

এখানে, $R_0 = 0°C$ উষ্ণতায় রোধকুণ্ডলীর রোধ

α, β = রোধকুণ্ডলীর উপাদানের ধ্রুবক

$\beta << \alpha$ হয়। θ-এর পাল্লা কম হলে লেখা যায়,

$$R_\theta = R_0(1 + \alpha\theta)$$

$$\therefore \alpha = \frac{R_\theta - R_0}{R_0\theta} \quad \ldots 13.1$$

এই সূত্রে α হল রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক (temperature coefficient of resistance)।

আবার $\theta_1^\circ C$ ও θ_2° C উষ্ণতায় রোধ যথাক্রমে R_1 ও R_2 হলে

$$R_1 = R_0(1 + \alpha\theta_1) \text{ এবং } R_2 = R_0(1 + \alpha\theta_2)$$

$$\therefore \frac{R_2}{R_1} = \frac{1 + \alpha\theta_2}{1 + \alpha\theta_1}$$

$$\therefore \alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1\theta_2 - R_2\theta_1} \quad \ldots 13.2$$

মিটার ব্রিজ পদ্ধতি ব্যবহার করে ঘরের তাপমাত্রায় ($\theta_1°C$) ও স্টীম তাপমাত্রায় ($\theta_2°C$) নির্দিষ্ট ধাতুর (যেমন তামা) একটি রোধ কুণ্ডলীর রোধ নির্ণয় করে ঐ পদার্থের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক α নির্ণয় করা যায়।

13.2 উদ্দেশ্য

(a) মিটার ব্রিজের সাহায্যে হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি ব্যবহার করে ঘরের তাপমাত্রায় ($\theta_1°C$) ও স্টীম তাপমাত্রায় ($\theta_2°C$) একটি তামার তারের কুণ্ডলীর রোধ নির্ণয় করতে হবে।

(b) 13.2 সূত্র প্রয়োগ করে রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক নির্ণয় করতে হবে।

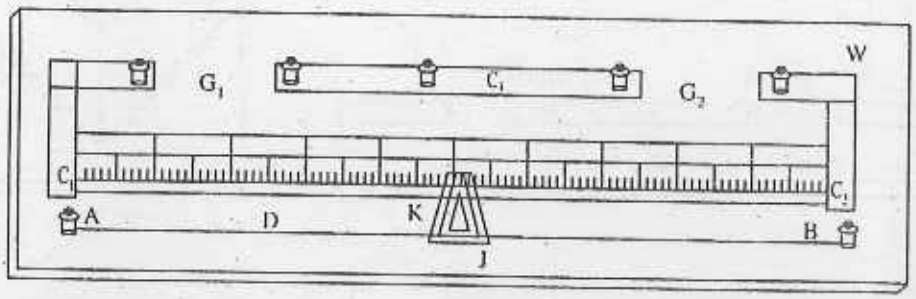
13.3 প্রয়োজনীয় যন্ত্রাদি

(a) মিটার ব্রিজ (b) দুটি রোধবাক্স (0.1Ω থেকে 1000 Ω) (c) একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটার (d) তড়িৎ কোশ বা কম ভোল্টের ব্যাটারি এলিমিনেটর (পাওয়ার সাপ্লাই) (e) রিওস্ট্যাট (f) প্লাগ কম্যুটেটর (g) পরীক্ষাধীন রোধকুণ্ডলি (h) থার্মোমিটার (i) হিপসোমিটার (j) সংযোজী তামার তার।

মিটার ব্রিজ

(a) গঠন ঃ সাধারণত খুব কম রোধ মাপার জন্য মিটার ব্রিজ ব্যবহার করা হয়। হুইটস্টোন নীতি ব্যবহার করে এর সাহায্যে অজানা রোধ নির্ণয় করা হয়। একটি আয়তাকার কাঠের পাটাতনের (W) উপর (চিত্র 13.1) 1Ω-2Ω এর একটি 1 m সুসম তার (AB) সোজাভাবে টানটান করে আটকে রাখা হয়।

কনস্ট্যানটান বা জার্মান সিলভার প্রভৃতি যে সব পদার্থের উষ্ণতা গুণাঙ্ক খুব কম তেমন পদার্থের তার ব্যবহার করা হয়। তারটিকে একটি মিটার স্কেলের পাশে রাখা হয়। L আকৃতির দুটি মোটা তামার পাত C_1 এবং C_2 তারের প্রান্তদুটির সঙ্গে ঝালিয়ে (soldered) দেওয়া হয়। পাটাতনের উপর পাতদুটি

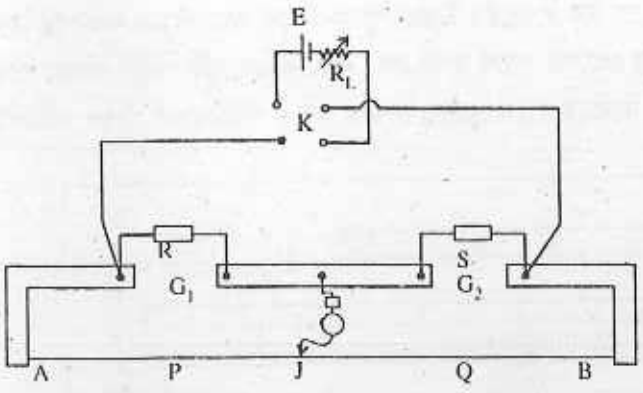


চিত্র 13.1 : মিটার ব্রিজ

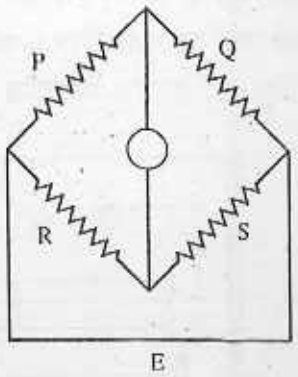
ভালোভাবে আটকানো থাকে। তারটির সমান্তরালে মিলিমিটারে (mm) অংশাঙ্কিত 1m কাঠের স্কেল এমনভাবে আটকানো থাকে যাতে তারটির দুটি প্রান্ত এর 0 cm এবং 100 cm দাগের সঙ্গে ঠিক ঠিক মেলে। C_1, C_2 পাতের অনুরূপ আর একটি সোজা পাত C_3 পাটাতনের উপর এমনভাবে আটকানো থাকে যাতে C_1 ও C_3 এবং C_3 ও C_2 পাতের মধ্যে দুটি ফাঁক G_1 ও G_2 থাকে। প্রতিটি পাতে সংযোজী তার লাগানোর জন্য প্রয়োজনীয় সংখ্যক বন্ধনী স্ক্রু (binding screw) থাকে। তারের সমান্তরালে একটি ধাতবদণ্ড D থাকে যার উপর দিয়ে একটি জকি J যাওয়া আসা করতে পারে এবং দণ্ডের সঙ্গে জকির সংযোগ রক্ষিত থাকে। জকির সঙ্গে লাগানো ক্ষুরধার (knife edge) K এর সাহায্যে প্রয়োজনে চাপ দিয়ে এর মাধ্যমে তারের যে কোনো বিন্দুর সঙ্গে D দণ্ডের মধ্যে সংযোগ স্থাপন করা হয়। জকির উপর সূচক চিহ্নের সাহায্যে স্কেল থেকে ঐ সংযোগ বিন্দুর অবস্থানের সঠিক পাঠ নেওয়া যায়। D দণ্ডটিতে সংযোগ স্থাপনের জন্য বন্ধনী স্ক্রু লাগানো থাকে।

(b) অজ্ঞাত রোধ নির্ণয়

13.2 (a) চিত্রের মতো মিটার ব্রিজের বামদিকের G_1 ফাঁকে একটি রোধ বাক্স R এবং ডানদিকের G_2 ফাঁকে অজ্ঞাত রোধ S যুক্ত করা হয়। একটি তড়িৎ কোশ (বা পাওয়ার সাপ্লাই) E ও রিওস্ট্যাট R_L শ্রেণিতে যুক্ত করে প্লাগ কম্যুটেটর K-এর সাহায্যে G_1 ফাঁকের বামদিকে ও G_2 ফাঁকের ডানদিকে যুক্ত করা হয়। রিওস্ট্যাটের রোধ পরিবর্তন করে তড়িৎপ্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করা হয়। C_1 পাতের মাঝখানের বন্ধনী স্ক্রু ও D দণ্ডের বন্ধনী স্ক্রুর মধ্যে গ্যালভানোমিটার G যোগ করা হয়। এতে D দণ্ডের মাধ্যমে জকি J-এর তড়িৎ সংযোগ সাধিত হয়। গ্যালভানোমিটারের মধ্যে প্রবাহ মাত্রা নিয়ন্ত্রণের জন্য প্রয়োজনে এর শ্রেণিতে একটি রোধবাক্স রাখা থাকে। ব্রিজটির অপ্রতিমিত অবস্থায় গ্যালভানোমিটারে যাতে প্রবাহ মাত্রা বেশি না হয় তার জন্য এই বাক্সে কিছু রোধ দেওয়া হয়। ব্রিজ প্রতিমিত অবস্থার কাছে এলে এই রোধ শূন্য করে প্রতিমিত বিন্দুর অবস্থান সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়।



চিত্র 13.2(a) : মিটার ব্রিজ : অজ্ঞাত রোধ নির্ণয়



চিত্র 13.2(b) : হুইটস্টোন ব্রিজ

রোধ বাক্সের (R) প্লাগ তুলে বাম ফাঁকে উপযুক্ত রোধ দেওয়া হয়। জকিটিকে সরিয়ে তারের উপর এমন একটি বিন্দু নির্ণয় করা হয় যেখানে জকির সংযোগ ঘটালে গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ হয়না। এটি নিস্পন্দ বিন্দু। নিস্পন্দ বিন্দু তারের মাঝামাঝি থাকলে ব্রিজটি সব থেকে বেশি সুবেদী হয়। সাধারণত R-এর মান এমন রাখা হয় যাতে নিস্পন্দ বিন্দু 45 cm থেকে 55 cm এর মধ্যে থাকে। পর্যবেক্ষণ সংখ্যা বেশি হলে 30 cm থেকে 60 cm এর মধ্যে নিস্পন্দ বিন্দু নেওয়া যায়। হুইটস্টোন ব্রিজের (চিত্র 13.2(b)) নিস্পন্দ অবস্থার সঙ্গে তুলনা করলে R ও S দুটি রোধ এবং জকির দুপাশে তারের দুটি অংশের রোধকে হুইটস্টোন ব্রিজের চারটি বাহু বলে গণ্য করা যায়। তামার পাত ও সংযোজী তারের রোধ উপেক্ষণীয়। প্রতিমিত হুইটস্টোন ব্রিজের শর্ত থেকে পাওয়া যায়,

$$\frac{R}{S} = \frac{\text{তারের } AJ \text{ অংশের রোধ}}{\text{তারের } BJ \text{ অংশের রোধ}} \qquad \ldots 13.3$$

AJ = l_1 cm হলে, BJ = $(100 - l_1)$ cm

তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের রোধ $\delta\,\Omega$ হলে,

AJ অংশ ও BJ অংশের তারের রোধ যথাক্রমে $l_1\delta\,\Omega$ ও $(100 - l_1)\delta\,\Omega$।

$$\therefore \frac{R}{S} = \frac{l_1\rho}{(100 - l_1)\rho} = \frac{l_1}{100 - l_1} \qquad \ldots 13.4$$

$$\therefore S = \frac{R(100 - l_1)}{l_1} \qquad \ldots 13.5$$

এভাবে অজ্ঞাত রোধ নির্ণয় করা যায়।

আবার R ও S এর স্থান পরস্পর পরিবর্তন করে নিস্পন্দ বিন্দু বামদিক থেকে l_2 দূরত্বে পাওয়া গেলে

$$\frac{S}{R} = \frac{l_2}{100 - l_2}$$

$$\therefore S = \frac{Rl_2}{100 - l_2} \qquad \ldots 13.6$$

সাধারণত জকির সূচক বিন্দু ও তারের সঙ্গে স্পর্শবিন্দু মেলেনা। R ও S এর স্থান বিনিময় করে পাঠ নিয়ে রোধের গড় নিয়ে এই ত্রুটি অপনয়ন করা হয়।

13.4 পরীক্ষার মূলতত্ত্ব

(a) রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক

0° সেলসিয়াস উষ্ণতায় পরিবাহি তারের পদার্থের প্রতি একক ওহম্ রোধে একডিগ্রি সেলসিয়াস উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যে পরিমাণ রোধ বৃদ্ধি হয় তাকে ঐ পদার্থের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক বলে।

θ_1°C ও θ_2°C উষ্ণতায় রোধ যথাক্রমে R_1 ও R_2 হলে,

$R_1 = R_0(1+\alpha\theta_1)$ এবং $R_2 = R_0(1+\alpha\theta_2)$

যেখানে $R_0 = 0$°C এ রোধ, α = রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক।

এর থেকে পাওয়া যায়,

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1+\alpha\theta_2}{1+\alpha\theta_1}$$

বা, $$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1\theta_2 - R_2\theta_1} \qquad \ldots 13.7$$

(b) মিটার ব্রিজের সাহায্যে অজ্ঞাত রোধ নির্ণয় :

মিটার ব্রিজের সাহায্যে ঘরের উষ্ণতায় (θ_1°C) ও স্টীম উষ্ণতায় (θ_2°C) প্রদত্ত তার কুণ্ডলীর রোধ যথাক্রমে $R_1\Omega$ ও $R_2\Omega$ নির্ণয় করা হয়।

প্রথমে ঘরের তাপমাত্রায় (θ_1°C) মিটার ব্রিজের বাম ফাঁকে রাখা রোধবাক্সের R রোধ ও ডান ফাঁকে রোধ কুণ্ডলী রেখে (চিত্র 13.2) মনে করি l_1 বিন্দুতে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া গেল। রোধ কুণ্ডলীর রোধ R_1 হলে,

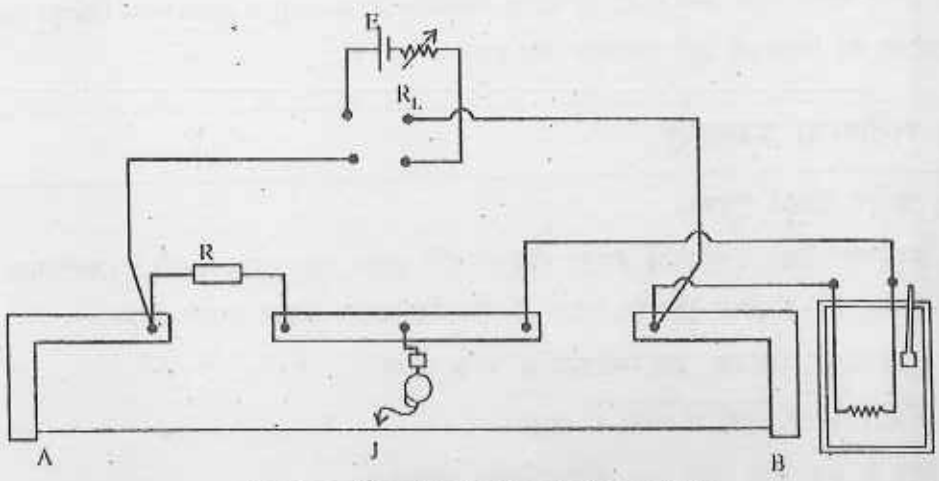
$$\frac{R}{R_1} = \frac{l_1}{100 - l_1} \qquad \therefore R_1 = \frac{R(100 - l_1)}{l_1} \qquad \ldots 13.8$$

রোধ বাক্স ও রোধ স্থান বিনিময় করে l_2 বিন্দুতে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া গেলে,

$$\frac{R_1}{R} = \frac{l_2}{100 - l_2} \qquad \therefore R_1 = \frac{Rl_2}{100 - l_2} \qquad \ldots 13.9$$

এই দুটি মানের গড় নিয়ে গড় R_1 এর মান নির্ণয় করা হয়।

অনুরূপভাবে হিপসোমিটারে স্টীম পাঠিয়ে স্টীম তাপমাত্রায় (θ_2°C) রোধ কুণ্ডলীর রোধ R_2 নির্ণয় করা হয়।



চিত্র 13.3 : মিটার ব্রিজ ঃ রোধ কুণ্ডলীর রোধ নির্ণয়

13.5 পরীক্ষা পদ্ধতি

(i) সংযোজী তামার তারগুলির প্রান্তগুলি শিরিষ কাগজ দিয়ে ঘষে পরিষ্কার করে নিন। 13.3 চিত্রের মতো বর্তনী প্রস্তুত করুন। এই অবস্থায় মিটার ব্রিজের বাম ফাঁকে রোধ বাক্স ও ডান ফাঁকে রোধ কুণ্ডলী রাখা আছে। হিপসোমিটারের মধ্যে রোধকুণ্ডলী রাখা আছে। এটি ঘরের উষ্ণতায় (θ_1°C) আছে। থার্মোমিটার থেকে ঐ উষ্ণতা θ_1 এর পাঠ নিন।

(ii) গ্যালভানোমিটারের শ্রেণিতে থাকা রোধবাক্স থেকে কিছু রোধ দিন। গ্যালভানোমিটারে যাতে বেশি তড়িৎ প্রবাহ না হয় তার জন্য এই ব্যবস্থা। ব্যাটারির সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত রিওস্ট্যাটে রোধ বেশি রেখে, কম্যুটেটরের মাধ্যমে সংযোগ সম্পূর্ণ করে জকি টিপে দেখে নিতে হবে নিস্পন্দ বিন্দু ব্রিজ তারের মাঝে আছে কি না? রোধ বাক্সের রোধ উপযুক্ত মানে রেখে 45 cm এর কাছে ব্রিজটিকে প্রতিমিত করুন। প্রতিমিত অবস্থার কাছাকাছি এলে গ্যালভানোমিটারের শ্রেণিতে যুক্ত রোধ শূন্য করে এবং ব্যাটারীর সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত রোধ কম করে অর্থাৎ প্রবাহমাত্রা কিছু বাড়িয়ে সঠিক নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করুন। বেশি প্রবাহমাত্রা যাতে না হয় এবং প্রবাহ যাতে বেশিক্ষণ না যায় সেদিকে লক্ষ্য রাখুন। পাঠ নেওয়ার সময় শুধু প্রবাহ পাঠান অন্যসময় বর্তনী ছিন্ন করে রাখুন। প্লাগ কম্যুটেটরের সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহ বিপরীতমুখী করে আবার নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় করুন। দুটি পাঠের গড়মান নিয়ে গণনা করতে হবে।

(iii) অনুরূপভাবে রোধবাক্সে উপযুক্ত রোধ নিয়ে 50 cm ও 55 cm এর কাছাকাছি দৈর্ঘ্যে নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করুন।

(iv) এবার বাম ফাঁকে রোধকুণ্ডলী ও ডান ফাঁকে রোধবাক্স রেখে যে যে রোধ বাম ফাঁকে রেখে প্রতিমিত দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হয়েছিল সেই সেই রোধ নিয়ে প্রতিমিত দৈর্ঘ্য নির্ণয় করুন।

13.8 ও 13.9 সমীকরণের সাহায্যে ঘরের উষ্ণতায় (θ_1°C) রোধকুণ্ডলীর রোধ R_1 নির্ণয় করুন।

(v) হিপসোমিটারে স্টীম পাঠিয়ে রোধকুণ্ডলীর উষ্ণতা স্টীমের উষ্ণতায় নিয়ে আসুন। থার্মোমিটারের পাঠ দেখতে থাকুন যাতে কুণ্ডলীটির উষ্ণতা 10-15 মিনিট স্থির থাকে।

উষ্ণতা বেড়ে যাওয়ায় রোধকুণ্ডলীর রোধও বেড়ে গেছে। ঘরের তাপমাত্রায় যেভাবে কুণ্ডলীর রোধ নির্ণয় করেছিলেন, এই উচ্চ উষ্ণতায় (θ_2), কুণ্ডলীর রোধ সে ভাবে নির্ণয় করুন। এখন 45 cm থেকে 55 cm এর মধ্যে প্রতিমিত বিন্দু পেতে হলে রোধবাক্সের রোধ বাড়াতে হবে। উপযুক্ত রোধ তুলে 45 cm, 50 cm ও 55 cm এর কাছে নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করুন। যে কোনো অবস্থানে পাঠ নিয়ে কয়েক মিনিট পরে আবার পাঠ নিন। যদি পাঠের কোনো পরিবর্তন না হয় তা হলে বোঝা যায় কুণ্ডলীটি সঠিকভাবে উচ্চ উষ্ণতায় পৌঁছেছে। আগের মতো উচ্চ উষ্ণতায়ও রোধবাক্স এবং কুণ্ডলীর স্থান পরিবর্তন করে পাঠ নিন। এভাবে θ_2°C উষ্ণতায় কুণ্ডলীর রোধ R_2 পাওয়া যায়।

(vi) θ_1°C ও θ_2°C উষ্ণতায় রোধ যথাক্রমে R_1 ও R_2 নির্ণিত হলে, 13.7 সমীকরণের সাহায্যে রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক α গণনা করুন।

13.6 পরীক্ষালব্ধ ফল-উপাত্তসারণি ও গণনা

(A) ঘরের উষ্ণতায় কুণ্ডলীর রোধ (R_1) নির্ণয় ঃ

সারণি-1

ঘরের তাপমাত্রা θ_1°C = °C

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	রোধ (Ω)		নিস্পন্দ বিন্দু (cm)			অজানা রোধ (Ω)	গড় রোধ (Ω)
	বাম ফাঁকে	ডান ফাঁকে	সমপ্রবাহ	বিপরীত প্রবাহ	গড়		
1	R	R_1	...	...	...	...	
2	R′	R_1	...	...	...	...	
3	R″	R_1	...	...	...	...	
4	R_1	R	...	...	...	...	
5	R_1	R′	...	...	...	...	
6	R_1	R″	...	...	...	...	

(B) চূড়ান্ত উষ্ণতায় কুণ্ডলীর রোধ (R_2) নির্ণয় ঃ

সারণি-2

চূড়ান্ত উষ্ণতা θ_2°C =

[R_2 রোধ পরিমাপের সারণি R_1 রোধ পরিমাপের অনুরূপ]

গণনা ঃ 13.7 সমীকরণে $R_1, R_2, \theta_1, \theta_2$ এর মান বসিয়ে রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক গণনা করুন।

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1\theta_2 - R_2\theta_1}$$

13.7 সাবধানতা

(1) ব্রিজের অপ্রতিমিত অবস্থায় গ্যালভানোমিটারে তড়িৎপ্রবাহ বেশি হয়। গ্যালভানোমিটারের যাতে কোনো ক্ষতি না হয় সেজন্য এর শ্রেণিতে রোধ যুক্ত করতে হবে। প্রতিমিত অবস্থার কাছাকাছি এসে এই রোধ কমিয়ে বা শূন্য করে নিস্পন্দ বিন্দুর সঠিক পাঠ নিতে হবে।

(2) তড়িৎ প্রবাহের সঙ্গে জুলক্রিয়ায় ব্রিজতারের উষ্ণতা বাড়ে ফলে রোধ পরিবর্তিত হয়। এই ত্রুটি কমাবার জন্য যত কম সময় তড়িৎ প্রবাহ যায় সে দিকে লক্ষ্য রাখতে হবে। শুধুমাত্র পাঠ নেওয়ার সময় প্রবাহ পাঠাতে হবে, অন্য সময় তড়িৎ বর্তনী ছিন্ন করে রাখতে হবে। আবার তড়িৎপ্রবাহ যাতে বেশি না হয় সেদিকেও লক্ষ্য রাখতে হবে। প্রয়োজনে কোশের (ব্যাটারীর) বর্তনীতে বেশি রোধ রাখতে হবে।

(3) বর্তনীতে বিভিন্ন ধাতুর সংযোগস্থলে তাপীয় তড়িচ্চালক বলের (thermo e.m.f.) উদ্ভব হয়। এরফলে নিস্পন্দ বিন্দু একদিকে সরে যায়। এই তড়িচ্চালক বল প্রবাহমাত্রার সঙ্গে সমানুপাতিক, তড়িৎপ্রবাহ বিপরীত করলে ঐ তড়িচ্চালক বল বিপরীত দিকে ক্রিয়া করবে। এতে নিস্পন্দ বিন্দু বিপরীত দিকে সরে যাবে। তাই এই ত্রুটি কমানোর জন্য কম্যুটেটরের সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ বিপরীত মুখী করে পুনরায় নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় করে দুটি পাঠের গড় মান নিতে হবে।

(4) জকির ক্ষুরধার যে বিন্দুতে ব্রিজতারকে স্পর্শ করে তা স্কেলের উপর জকির সূচক চিহ্নের অবস্থানের সঙ্গে সমান নাও হতে পারে। এই ত্রুটি কমাবার জন্য রোধবাক্স ও কুণ্ডলীর অবস্থান পরস্পর বিনিময় করে পাঠ নিতে হবে। উভয় ক্ষেত্রে কুণ্ডলীর রোধ নির্ণয় করে তাদের গড় নিতে হবে।

(5) মিটার ব্রিজে প্রান্তীয় ত্রুটি ঃ (i) ব্রিজতারের দুটি প্রান্ত যেখানে তামার পাতের সঙ্গে ঝালাই করা হয় সেখানে অল্পরোধ থেকে যায়, (ii) মিটার স্কেলের শূন্য দাগ ও 100 cm দাগের সঙ্গে তারের দুপ্রান্ত ঠিকমত মেলে না, (iii) তামার পাতেও অল্প রোধ থাকতে পারে। এসব কারণে তারের উভয়প্রান্তে অল্প কিছু রোধ থেকে যায়। এদের প্রান্তীয় রোধ (end resistance) বলে। এই প্রান্তীয় রোধ তারের দৈর্ঘ্যের তুল্য হিসাবে প্রকাশ করা হয়। এদের প্রান্তীয় ত্রুটি (end error) বলে। এই ত্রুটি দূর করার পদ্ধতিকে প্রান্তীয় শুদ্ধি (end correction) বলা হয়। ধরি বামপ্রান্তের শুদ্ধি λ_1 cm ও ডানপ্রান্তের এই শুদ্ধি λ_2 cm। λ_1 ও λ_2 নির্ণয়

করে, অজানা রোধ আরো সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়। সেক্ষেত্রে 13.4 সমীকরণ হবে

$$\frac{R}{S}=\frac{(l_1+\lambda_1)\rho}{(100-l_1+\lambda_2)\rho}=\frac{l_1+\lambda_1}{100-l_1+\lambda_2}$$

$$\therefore S=\frac{R(100-l_1+\lambda_2)}{l_1+\lambda_1} \quad \ldots 13.10$$

R ও S দুটি জানা (অসমান) রোধ ব্যবহার করে λ_1 ও λ_2 এর মান নির্ণয় করা যায়।

বাম ফাঁকে R ও ডান ফাঁকে S রেখে l_1 বিন্দুতে নিস্পন্দ বিন্দু গেলে

$$\frac{R}{S}=\frac{l_1+\lambda_1}{100-l_1+\lambda_2} \quad \ldots 13.11$$

এদের স্থান বিনিময় করে নিস্পন্দ বিন্দু l_2 তে হলে

$$\frac{S}{R}=\frac{l_2+\lambda_1}{100-l_2+\lambda_2} \quad \ldots 13.12$$

13.11 ও 13.12 সমীকরণ থেকে R, S, l_1, l_2 এর মান থেকে λ_1 ও λ_2 এর মান নির্ণয় করা যায়।

λ_1 ও λ_2 এর মান সাধারণত খুবই কম হয়। নিস্পন্দ বিন্দু তারের মাঝামাঝি নিলে এই ত্রুটি খুবই কম হবে।

(6) নিস্পন্দ বিন্দু তারের মাঝামাঝি হলে ব্রিজটি বেশি সুবেদী হয়। এর জন্যও তারের মাঝামাঝি নিস্পন্দ বিন্দু নিতে হবে।

(7) হিপসোমিটারকে মিটার ব্রিজ থেকে বেশ দূরে রাখতে হবে যাতে বিকীর্ণ তাপ ব্রিজে না আসে। ঐ তাপে ব্রিজের তারের রোধ বেড়ে যেতে পারে।

(8) উচ্চ উষ্ণতায় চূড়ান্ত পাঠ নেওয়ার আগে হিপসোমিটারের থার্মোমিটারের পাঠ 10 থেকে 15 মিনিট পর্যন্ত যাতে স্থির থাকে তা নিশ্চিত হতে হবে। ঐ সময়ে নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থানও স্থির থাকবে।

13.8 সারাংশ

(1) উষ্ণতার পরিবর্তনের সঙ্গে পরিবাহীর রোধের পরিবর্তন হয়। সমস্ত বিশুদ্ধ ধাতুর ক্ষেত্রে উষ্ণতা বাড়ার সঙ্গে রোধও বাড়ে। উষ্ণতার পাল্লা কম হলে লেখা যায়,

$$R_\theta=R_0(1+\alpha\theta) \text{ বা, } \alpha=\frac{R_\theta-R_0}{R_0\theta}$$

এখানে $R_0=0^\circ C$ উষ্ণতায় রোধ

$R_\theta = \theta°C$ উষ্ণতায় রোধ

$\theta°C$ = উষ্ণতা বৃদ্ধি

α = রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক

আবার নিম্ন উষ্ণতায় ($\theta_1°C$) ও উচ্চ উষ্ণতায় ($\theta_2°C$) রোধ যথাক্রমে R_1 ও R_2 হলে,

$R_1 = R_0(1+\alpha\theta_1)$ এবং $R_2 = R_0(1+\alpha\theta_2)$

এখান থেকে পাওয়া যায়,

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1\theta_2 - R_2\theta_1}$$

α হল $0°C$ ও $\theta_2°C$ উষ্ণতার পাল্লার মধ্যে রোধের গড় উষ্ণতা গুণাঙ্ক।

(2) মিটার ব্রিজের সাহায্যে অজ্ঞাত রোধ নির্ণয় করার পদ্ধতি প্রয়োগ করে এখানে R_1 ও R_2 রোধ নির্ণয় করা হয়। মিটার ব্রিজে হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি প্রয়োগ করা হয়। ম্যাঙ্গানিন বা কনস্ট্যানটানের 1 মিটার দীর্ঘ তার ব্রিজ তার হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এর রোধ প্রায় 1Ω থেকে 2Ω এর কাছাকাছি থাকে। 1 mm পর্যন্ত পাঠ নেওয়া যায় বলে, এর সাহায্যে 0.001Ω থেকে 0.002Ω পর্যন্ত সূক্ষ্মভাবে রোধ পরিমাপ করা যায়। মিটার ব্রিজের বাম ফাঁকে জানা রোধ R ও ডান ফাঁকে অজানা রোধ S রেখে নিস্পন্দ বিন্দু তারের বাম দিক থেকে l_1 দূরত্বে গেলে,

$$\frac{R}{S} = \frac{l_1\rho}{(100-l_1)\rho} = \frac{l_1}{100-l_1}$$

ρ হল একক দৈর্ঘ্যের তারের রোধ

অজ্ঞাত রোধ $S = \dfrac{R(100-l_1)}{l_1}$

R ও S এর অবস্থান বিনিময় করে l_2 দূরত্বে নিস্পন্দ বিন্দু গেলে,

$$\frac{S}{R} = \frac{l_2}{100-l_2} \qquad \therefore S = \frac{Rl_2}{100-l_2}$$

(3) ঘরের উষ্ণতায় ($\theta_1°c$) ও স্টীমের উষ্ণতায় ($\theta_2°C$) রোধকুণ্ডলী রেখে রোধকুণ্ডলীর রোধ যথাক্রমে $R_1\Omega$ ও $R_2\Omega$ পরিমাপের উপাত্তসারণি তৈরি করা হয়। দুটি উষ্ণতা থার্মোমিটারের সাহায্যে সূক্ষ্মভাবে পরিমাপ করে লিপিবদ্ধ করা হয়।

(4) $R_1, R_2, \theta_1, \theta_2$ নির্ণয় করে, রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক গণনা করা হয়।

13.9 প্রশ্নাবলি ও উত্তরমালা

প্রশ্নাবলি

(1) রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক কাকে বলে ? কোনো পদার্থের ক্ষেত্রে এটি কি স্থির রাশি ?

(2) উষ্ণতা বাড়লে রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক বাড়ে না কমে ?

(3) মানক রোধ (standard resistance) তৈরি করতে সংকর ধাতু ব্যবহার করা হয় কেন ? এরূপ দুটি সংকর ধাতুর নাম বলুন।

(4) তড়িৎপ্রবাহ সমমুখী ও বিপরীত মুখী করে নিস্পন্দ বিন্দুর পাঠ নিতে হয় কেন ?

(5) দুটি ফাঁকে জানা ও অজানা রোধের স্থান বিনিময় করে নিস্পন্দ বিন্দুর পাঠ নেওয়া হয় কেন ?

(6) কোন্ অবস্থায় হুইটস্টোন ব্রিজ সব থেকে বেশি সুবেদী হয়।

(7) তড়িৎপ্রবাহ কম রাখা হয় কেন ? বেশিক্ষণ তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হয়না কেন ?

(8) ব্রিজ তারের রোধ $2\,\Omega$ হলে রোধ মাপের সূক্ষ্মতা কত হবে ?

(9) নিস্পন্দ বিন্দু তারের মাঝামাঝি নেওয়া হয় কেন ?

উত্তরমালা

(1) কোনো পদার্থের একক উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য $0°C$ এ একক রোধের যত রোধ বৃদ্ধি হয় তাকে ঐ পদার্থের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক বলে। রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক α হলে,

$$\alpha = \frac{R_\theta - R_0}{R_0 \theta}$$

এখানে $R_\theta = \theta°C$ উষ্ণতায় রোধ

$R_0 = 0°C$ উষ্ণতায় রোধ

$\theta°C$ = উষ্ণতা বৃদ্ধি

(2) বিশুদ্ধ ধাতুর ক্ষেত্রে উষ্ণতা বাড়ালে, রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক বাড়ে। অর্ধপরিবাহী, কার্বন, তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে উষ্ণতা বাড়লে রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক কমে।

(3) উষ্ণতার সঙ্গে মানক রোধগুলির রোধের পরিবর্তন হওয়া উচিত নয়, কিছু কিছু সংকর ধাতুর রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্কের মান খুবই কম। অর্থাৎ উষ্ণতার পরিবর্তনে রোধের মান তেমন উল্লেখযোগ্য ভাবে পাল্টায় না। তাই এই সব সংকর ধাতুর তার ব্যবহার করে মানক রোধ প্রস্তুত করা হয়।

ম্যাঙ্গানিন ও কনস্ট্যানটান এরূপ দুটি সংকর ধাতু।

ম্যাঙ্গানিন—84 Cu, 4 Ni, 12 Mn

কনস্ট্যানটান—60 Cu, 40 Ni (প্রায়)

(4) বর্তনীতে বিভিন্ন ধাতুর তারের সংযোগ স্থলে বা একটি তারে উষ্ণতার পার্থক্যের জন্য তাপীয় তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়। এতে নিস্পন্দ বিন্দু একদিকে সরে যায়। তড়িৎপ্রবাহ বিপরীত করলে নিস্পন্দ বিন্দু বিপরীত দিকে সরে যাবে। গড় নিয়ে এর প্রভাব থেকে মুক্ত হওয়া যায়।

(5) জকির ক্ষুরধার ও স্কেলের উপর সূচক চিহ্নের অবস্থান একই নাও হতে পারে। জানা রোধ ও অজানা রোধের অবস্থান বিনিময় করে পাঠ নিয়ে রোধ নির্ণয় করে ওদের গড় মান নিলে এই ত্রুটি কমানো যায়।

(6) হুইটস্টোন ব্রিজের চারটি বাহুর রোধ কাছাকাছি হলে এটি বেশি সুবেদী হয়।

(7) তড়িৎপ্রবাহমাত্রা বেশি হলে জুলক্রিয়ায় ব্রিজের বিভিন্ন স্থানে রোধের বৃদ্ধি হবে, রোধ পরিমাপে ত্রুটি হবে। বেশিক্ষণ তড়িৎপ্রবাহ পাঠালেও এই ত্রুটি আসবে।

(8) মিটার ব্রিজতারে 1 mm পর্যন্ত সূক্ষ্মভাবে মাপা যায়। অতএব অজানা রোধ $^{2}/_{1000} = 0.002\,\Omega$ পর্যন্ত সূক্ষ্মভাবে পরিমাপ করা যাবে।

(9) নিস্পন্দ বিন্দু তারের মাঝামাঝি হলে ব্রিজটি সুবেদী হবে। এতে প্রান্তীয় ত্রুটিকেও উপেক্ষা করা যায়।

একক 14 ❐ (a) অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে OR ও AND গেট গঠন ও এদের সত্যসারণি প্রমাণের পরীক্ষা। (b) IC NAND ও NOR গেট ব্যবহার করে NOT, AND ও OR গেট ও এদের সত্যসারণি প্রমাণের পরীক্ষা

গঠন

14.1 প্রস্তাবনা

14.2 উদ্দেশ্য

14.3 অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে OR ও AND গেট গঠন ও এদের সত্যসারণি প্রমাণের পরীক্ষা

14.4 সংহত বর্তনী (IC)

14.5 NOT গেট

14.6 ডি মরগ্যানের উপপাদ্য

14.7 IC NAND গেট ব্যবহার করে NOT, AND ও OR গেট গঠন ও এদের সত্যসারণি প্রমাণের পরীক্ষা

14.8 IC NOR গেট ব্যবহার করে NOT, OR ও AND গেট গঠন ও এদের সত্যসারণি প্রমাণের পরীক্ষা

14.9 সাবধানতা

14.10 সারাংশ

14.11 প্রশ্নাবলি ও উত্তরমালা

14.1 প্রস্তাবনা

লজিক গেট (logic gate) এমন একটি ইলেকট্রনিক বর্তনী যার এক বা একাধিক ইনপুট সংকেত (input signal)-এর আউটপুট সংকেত (output signal) হবে যুক্তিযুক্ত সিদ্ধান্ত। ইনপুট সংকেতগুলির বিশেষ সমন্বয়ের ফলে আউটপুট সংকেত পাওয়া যায়। জর্জবুল (George Boole) যে বীজগণিত আবিষ্কার করেছিলেন তাকে বুলিয়ান বীজ গণিত (Boolean algebra) বলা হয়। সেই বীজগণিতের ধর্মাবলী এই সব লজিক গেটের সাহায্যে রূপায়িত করা হয়। বুলিয়ান বীজগণিতের বৈশিষ্ট্য হল এতে শুধুমাত্র দুটি পদ 0 (শূন্য) ও 1 (এক) ব্যবহৃত হয়।

বিস্তৃত মাত্রার আঙ্কিক তন্ত্রে (digital systems) যেমন, কমপিউটারে, সাংখ্য তথ্য প্রক্রিয়া করণে (numerical data processing), নিয়ন্ত্রণে (control), আঙ্কিক সঞ্চার (digital communication) ইত্যাদিতে কয়েকটি প্রাথমিক লজিক গেটের ক্রিয়া সম্পাদন করা হয়। প্রয়োজনে বার বার এই ক্রিয়া সম্পাদন করতে হয়।

আমরা এখানে তিনটি প্রাথমিক লজিক গেট নিয়ে পরীক্ষা করব। বর্তমানে এই সব গেটের বিভিন্ন সমন্বিত বর্তনী (Integrated Circuit সংক্ষেপে IC) সহজে পাওয়া যায়। এগুলিতে কম শক্তি ব্যয় হয় এবং খুবই নির্ভরযোগ্য ও দামে কম। আমাদের পরীক্ষা হবে ডায়োডের সাহায্যে OR ও AND গেট তৈরি করা এবং NAND ও NOR সমন্বিত বর্তনী (IC) থেকে OR, AND ও NOT গেট রূপায়িত করা।

14.2 উদ্দেশ্য

এই পরীক্ষাগুলির সাহায্যে অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে কীভাবে প্রাথমিক লজিক গেট OR ও AND গঠন করা যায় তা আপনারা হাতে নাতে পরীক্ষা করে অনুধাবন করতে পারবেন। NAND ও NOR IC থেকে, OR, AND ও NOT গেট রূপায়িত করতে পারবেন।

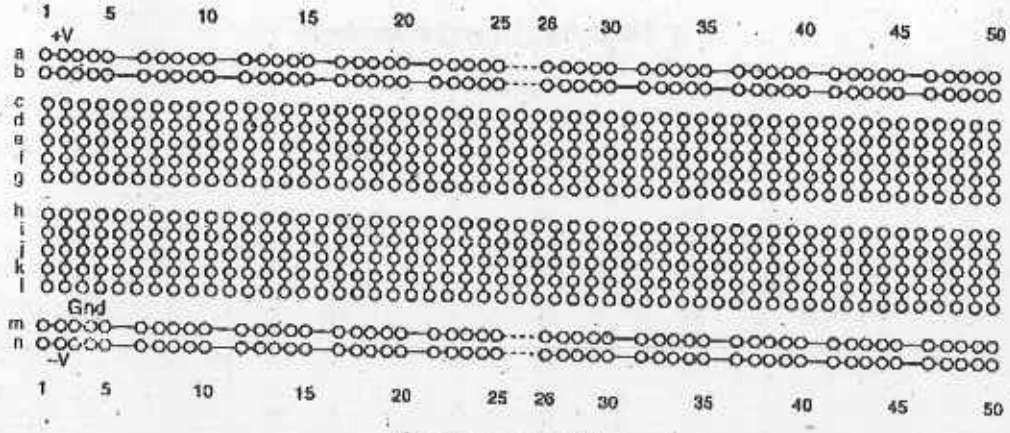
14.3 অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে OR ও AND গেট গঠন ও এদের সত্যসারণি প্রমাণের পরীক্ষা

(a) প্রয়োজনীয় যন্ত্রাদি ঃ

(i) দুটি একই ধরণের অর্ধপরিবাহী ডায়োড (যেমন IN 4147/4148, IN 4002), (ii) 5v এর ব্যাটারী (iii) একটি 10 kΩ রোধ (iv) (0-5v) ডিসি ভোল্টমিটার (v) একটি ব্রেড বোর্ড ও সংযোগকারী তার।

ব্রেড বোর্ড (Bread Board) ঃ ব্রেড বোর্ড হল একটি প্লাস্টিকবোর্ড যার উপর বিভিন্ন লাইন বরাবর ছোটো ছোটো গর্ত করা আছে। এর উপরে রোধ, ধারক, ডায়োড, ট্রানজিসটর, IC ইত্যাদি বসিয়ে সহজে তড়িৎবর্তনী তৈরি করা যায়। ঝালাই ছাড়া এই বর্তনী গঠন করা যায়। কোনো বন্ধনী স্ক্রু, IC বা ট্রানজিসটর বসানোর বিশেষ পীঠের দরকার হয়না। বর্তনী সংযোগও সহজে পরিবর্তন করা যায়। বোর্ডের উপর ছোটো ছোটো গর্ত থাকে বলে এমন নাম। 14.1 চিত্রে এর একটি নমুনা দেখানো হয়েছে। a, b, c, .. m, n ইত্যাদি লাইনে গর্তগুলি সারিবদ্ধভাবে আছে। a, b ও m, n এর সারিবদ্ধ অনুভূমিক লাইনে 1 থেকে 25 নং গর্ত পর্যন্ত এবং 26 থেকে 50 নং গর্ত পর্যন্ত ভিতরে ধাতব পাত দিয়ে পরস্পর যুক্ত থাকে। সাধারণত 25 ও 26 নং গর্তের মধ্যে কোনো সংযোগ থাকে না। c, d, .. *l* পর্যন্ত লাইনগুলিতে উল্লম্ব গর্তগুলি পরস্পর ধাতব পাত দিয়ে যুক্ত। g ও h লাইনের মধ্যে কোনো সংযোগ থাকে না।

সাধারণত a ও b লাইনে 1 থেকে 25 এর মধ্যে যে কোনো গর্তে ব্যাটারীর ধনাত্মক (+ve) প্রান্ত যুক্ত



চিত্র 14.1 : ব্রেড বোর্ড

করা হয়। এতে 1 থেকে 25 পর্যন্ত গর্তের প্রত্যেকটিতেই ধনাত্মক প্রান্ত পাওয়া যাবে। তেমনি 25 থেকে 50 এর মধ্যে যে কোনো গর্তে ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্ত যোগ করলে ঐ গর্তগুলির প্রত্যেকটিতে ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্ত পাওয়া যাবে। 25 ও 26 নং গর্ত যুক্ত করে ধনাত্মক প্রান্তের সংখ্যা বাড়িয়ে নেওয়া যায়। একইভাবে m ও n লাইনের যে কোনো গর্তে ব্যাটারীর ঋণাত্মক (-vc) প্রান্ত যোগ করে ঋণাত্মক প্রান্তের সংখ্যা বাড়িয়ে নেওয়া যায়। ধনাত্মক ও ঋণাত্মক লাইনের গর্তে তার ঢুকিয়ে সংযোগ নেওয়া হয়। প্লাস্টিক দিয়ে আবৃত এক তারের সরু শক্ত তার দিয়ে সংযোগ গুলি করা হয়। b ও c, g ও h, l ও m এর মধ্যে ফাঁক একটু বেশি থাকে। g ও h এর মধ্যে ফাঁকটি IC বসানোর উপযুক্ত রাখা হয়। IC-র পিনগুলি g ও h এর গর্তের মধ্যে ঠিক মতো বসতে পারে। c থেকে l পর্যন্ত উল্লম্বভাবে যুক্ত গর্তগুলিতে ডায়োড, ট্রানজিসটর, রোধ ইত্যাদি বসিয়ে, তারের সাহায্যে বিভিন্ন বর্তনী সহজে প্রস্তুত করা যায়।

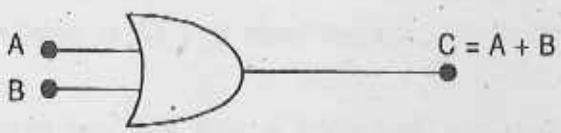
(b) মূলতত্ত্ব :

(i) OR গেট ও তার সত্যসারণি :

OR গেট : OR গেটে দুটি বা বেশি ইনপুট থাকে এবং একটি আউটপুট থাকে। ইনপুটের যে কোনো একটিতে '1' অবস্থা হলে আউটপুটে '1' অবস্থা পাওয়া যাবে। সব ইনপুটে '0' অবস্থা হলে আউটপুট '0' অবস্থা হবে।

নিচের প্রতীক চিহ্ন দিয়ে (চিত্র 14.2) দু-ইনপুট OR গেট সূচিত করা হয়। A ও B যথাক্রমে দুটি ইনপুট ও C আউটপুট।

লেখা হয় C = A OR B = A + B



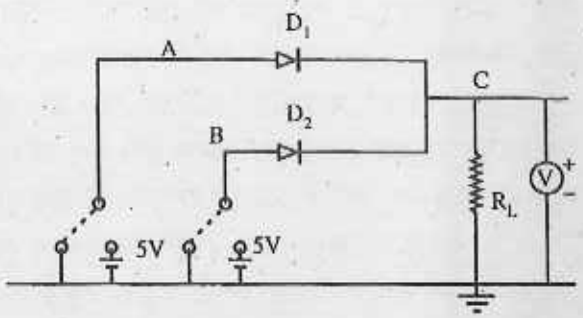
চিত্র 14.2 : OR গেট

দু ইনপুট যুক্ত OR গেটের সত্যসারণি

সারণি-1

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C = A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(ii) **OR গেটের বর্তনী ও ক্রিয়া :** চিত্র 14.3 অনুযায়ী ডায়োডের সাহায্যে ধনাত্মক লজিকের উপযুক্ত বর্তনী গঠন করতে হবে। D_1 ও D_2 দুটি অর্ধপরিবাহী ডায়োড। এদের n প্রান্ত দুটি একই বিন্দু C তে যুক্ত। ওখান থেকে রোধ R_L (10 kΩ নেওয়া হয়েছে) ভূমির সঙ্গে যুক্ত। C ও ভূমির মধ্যে বিভবপ্রভেদ মাপার জন্য V ভোল্টমিটার যুক্ত আছে।



চিত্র 14.3 : অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে OR গেট

ডায়োট দুটির p প্রান্তে (A ও B) পরপর 0V বিভব ও 5V বিভব দেওয়ার ব্যবস্থা করা আছে। প্রয়োজনে উপযুক্ত সুইচ ব্যবহার করা যায়। A ও B যথাক্রমে দুটি ইনপুট ও C আউটপুট।

A ও B ইনপুট দুটিই যখন '0' অবস্থায় (ভূমির সঙ্গে যুক্ত থাকায় বিভব 0 V) থাকে, তখন ডায়োড দুটির মধ্যে কোনো তড়িৎ প্রবাহ হয়না। R_L রোধের মধ্যে কোনো তড়িৎ প্রবাহ না থাকায় C বিন্দুতে বিভব 0 (শূন্য) হয়। এটি '0' অবস্থা সূচিত করে। A বা B ইনপুটের যে কোনো একটিতে, ধরি A ইনপুটে 5V বিভব দেওয়া হল। B তখন '0' অবস্থায় আছে। তখন D_1 ডায়োডের p প্রান্তে 5V ও n প্রান্তে 0 V থাকায় এটি সম্মুখ বায়াসে থাকবে। ফলে D_1 ডায়োডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হবে। R_L এর মধ্য দিয়ে এই প্রবাহ হওয়ার জন্য ভোল্টমিটারে পাঠ পাওয়া যাবে। V_γ ডায়োডের কাট-ইন বিভব হলে প্রবাহ হবে $\frac{5-V_\gamma}{R}$। (ডায়োডের সম্মুখ বায়াস রোধ খুব কম বলে উপেক্ষা করা যায়।) অতএব আউটপুট বিভব হবে $V_0 = 5 - V_\gamma$। Si ডায়োডের বেলায় $V_\gamma \approx 0.6$ V। $\therefore V_0$ হবে (5 - 0.6)V = 4.4 V। তখন আউটপুটকে '1' অবস্থা ধরা হয়। [Ge ডায়োডের বেলায় $V_\gamma \approx 0.2$ V, সেক্ষেত্রে V_0 হবে (5 - 0.2) V = 4.8 V]

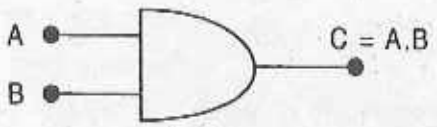
এবার A এর বদলে B তে 5 V বিভব প্রয়োগ ও A তে শূন্য বিভব প্রয়োগ করলে আউটপুট '1' অবস্থায় পাওয়া যাবে।

A ও B দুটিতে 5V প্রয়োগ করলে অর্থাৎ দুটিই '1' অবস্থায় থাকলে আউটপুট '1' অবস্থায় থাকবে। OR গেটের সত্যসারণির সঙ্গে এই পাঠগুলো মিলে যায়।

(iii) AND গেট ও তার সত্যসারণি :

AND গেট : AND গেটে দুটি বা বেশি ইনপুট এবং একটি আউটপুট থাকে। সব ইনপুটগুলি '1' অবস্থায় থাকলে আউটপুট '1' অবস্থায় থাকে। যে কোনো একটি ইনপুট '0' অবস্থায় থাকলে আউটপুট '0' অবস্থায় থাকে।

নিচের প্রতীক চিহ্ন দিয়ে (চিত্র 14.4) দু-ইনপুট AND গেট সূচিত করা হয়। A ও B যথাক্রমে দুটি ইনপুট ও C আউটপুট। লেখা হয় C = A AND B = A.B



চিত্র 14.4 : AND গেট

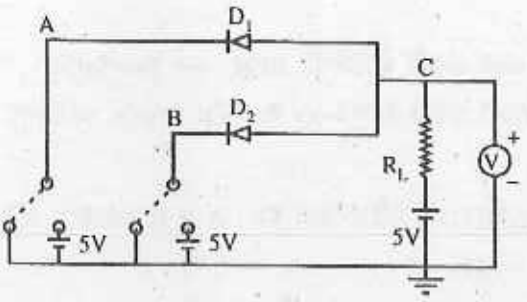
দু-ইনপুট যুক্ত AND গেটের সত্যসারণি

সারণি-2

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(iv) AND গেটের বর্তনী ও ক্রিয়া : চিত্র 14.5 অনুযায়ী ডায়োডের সাহায্যে ধনাত্মক লজিকের উপযুক্ত বর্তনী গঠন করতে হবে। D_1 ও D_2 দুটি অর্ধপরিবাহী ডায়োড। এদের p প্রান্ত দুটি একই বিন্দু C তে যুক্ত। ওখানে রোধ R_L এর প্রান্ত যুক্ত। R_L এর অপর প্রান্ত 5V ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত। ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্ত ভূমির সঙ্গে যুক্ত। C ও ভূমির মধ্যে বিভব প্রভেদ মাপার জন্য V ভোল্টমিটার যুক্ত করা আছে। ডায়োড দুটির n প্রান্তে (A ও B) পর পর 0 V বিভব ও 5 V বিভব প্রয়োগের ব্যবস্থা করা আছে। উপযুক্ত সুইচও ব্যবহার করা যায়। A ও B যথাক্রমে দুটি ইনপুট ও C আউটপুট। দুটি ইনপুটের যে কোনো একটি, ধরি A ইনপুট '0' অবস্থায় (ভূমির সঙ্গে যুক্ত), থাকলে, D_1 ডায়োড সম্মুখ বায়াসে থাকে। রোধ R_L এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। C বিন্দুর বিভব প্রায় শূন্য হবে। কারণ এটি তখন ভূমির সঙ্গে সরাসরি যুক্ত হবে। Si ডায়োডের বেলায় কাট ইন বিভব 0.8 V বলে, ভোল্টমিটারে পাঠ হবে 0.8 V; এই

বিভব 0.8 V দেখাবে। Ge ডায়োডের বেলায় প্রায় 0.2 V দেখাবে। একে '0' অবস্থা ধরা হয়। C আউটপুট হল '0' অবস্থা। একই ভাবে B ইনপুট '0' অবস্থায় থাকলে D_2 ডায়োডে তড়িৎ প্রবাহিত হবে এবং C আউটপুট '0' অবস্থায় থাকবে। যে কোনো একটি ইনপুটে 5 V প্রয়োগ করলে যে ডায়োডের সঙ্গে ঐ ইনপুট যুক্ত তার দু পাশে 5 V বিভব পড়ায় ঐ ডায়োডটি তড়িৎপ্রবাহ দেবে না। অপর ইনপুটে 0 V প্রযুক্ত হলে ওর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ডায়োড তড়িৎ প্রবাহ দেবে ফলে আউটপুট C '0' অবস্থায়ই থাকবে। যখন দুটি ইনপুটেই 5 V প্রয়োগ করা হবে তখন ডায়োড দুটির দুপ্রান্তে একই বিভব থাকায় কোনো ডায়োডই তড়িৎ প্রবাহ দেবে না। ফলে আউটপুট C বিন্দুতে 5V বিভব প্রভেদ পাঠ পাওয়া যাবে। এটি '1' অবস্থা। এই পাঠগুলি AND গেটের সত্যসারণির সত্যতা প্রমাণ করে।



চিত্র 14.5 : অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে AND গেট

(c) পরীক্ষা পদ্ধতি :

(I) (i) প্রথমে OR গেটের সত্যসারণি প্রমাণের জন্য 14.3 চিত্রের মতো ব্রেড বোর্ডের (চিত্র 14.1) উপর উপযুক্ত তারের সাহায্যে বর্তনী প্রস্তুত করে নিন। ব্রেড বোর্ডের উপরের অনুভূমিক a বা b লাইনের সঙ্গে 5 V ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্ত ও m বা n লাইনের সঙ্গে ঋণাত্মক প্রান্ত যুক্ত করুন। ওখান থেকে তারের সংযোগ করে 5 V বা 0 V প্রয়োজন মতো প্রয়োগ করার ব্যবস্থা করে রাখুন। ডায়োডের n প্রান্তে সাধারণত রঙিন দাগ দেওয়া থাকে। ডিজিট্যাল মালটিমিটার দিয়ে ডায়োড পরীক্ষা করে n প্রান্ত ও p প্রান্ত নিশ্চিত হয়ে নিন। c থেকে *l* পর্যন্ত লাইন ব্যবহার করে দুটি ডায়োড D_1, D_2 এমন ভাবে বসান যাতে এদের p প্রান্ত দুটি পৃথক উল্লম্ব লাইনের সঙ্গে যুক্ত থাকে। আর n প্রান্ত দুটি একই উল্লম্ব লাইনে বসান। ওটিই C বিন্দু। C বিন্দু থেকে R_L রোধ ($\approx 10\,k\Omega$) ভূমির সঙ্গে (ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্ত যুক্ত m বা n লাইনের সঙ্গে) যুক্ত করুন। C বিন্দুতে ভোল্টমিটার V এর ধনাত্মক প্রান্ত ও ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্তের লাইনের সঙ্গে ঋণাত্মক প্রান্ত যুক্ত করুন। এখানে ঋণাত্মক প্রান্তই ভূমি। ডায়োড D_1 ও D_2-র p প্রান্ত দুটি যথাক্রমে ধরি দুটি ইনপুট A ও B।

(ii) A ও B ইনপুট দুটিকে ভূমির (ব্যাটারীর ঋণাত্মক লাইনের) সঙ্গে যুক্ত করুন। এ দুটি ইনপুট এখন '0' অবস্থায় আছে। ভোল্টমিটারে পাঠ দেখুন- পাঠ 0 V দেখাবে। এটি '0' অবস্থা। এবার A ইনপুটকে ভূমির সঙ্গে যুক্ত রেখে B ইনপুটকে 5 V এর ধনাত্মক প্রান্তে যুক্ত করুন। এ অবস্থায় A ইনপুট '0' অবস্থায় ও B ইনপুট '1' অবস্থায় আছে। ভোল্টমিটারে আউটপুট বিভবের পাঠ নিন। D_2 ডায়োড সম্মুখ বায়াসে থাকায় এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হবে ও ভোল্টমিটারে পাঠ পাওয়া যাবে। ভোল্টমিটারের রোধ প্রায় অসীম হলে পাঠ দেখাবে প্রায় 4.4 ভোল্ট (সিলিকন ডায়োডের ক্ষেত্রে)। যেহেতু ভোল্টমিটারের রোধ খুব বেশি হয়না তাই পাঠ কিছু কম দেখাবে। এটিই আউটপুটের '1' অবস্থা।

(iii) একই ভাবে পর্যায়ক্রমে A ইনপুটকে '1' অবস্থায় ও B ইনপুটকে '0' অবস্থায় রেখে এবং A ও B দুটি ইনপুটকে '1' অবস্থায় রেখে আউটপুটের পাঠ নিন। সব পাঠই সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন।

এখান থেকে OR গেটের সত্যসারণি প্রস্তুত করুন।

(II) চিত্র 14.5 অনুযায়ী ব্রেড বোর্ডের উপর AND গেটের বর্তনী প্রস্তুত করুন। A ও B ইনপুটে পর্যায়ক্রমে, '0' ও '0' অবস্থায়, '0' ও '1' অবস্থায়, '1' ও '1' অবস্থায় রেখে আউটপুট বিভব পরিমাপ করুন। সারণিতে সব পাঠ লিপিবদ্ধ করুন।

এখান থেকে AND গেটের সত্য সারণি প্রস্তুত করুন।

(d) পরীক্ষালব্ধ ফল :

ডায়োডের নাম - - - -

ডায়োডের মধ্যে সর্বোচ্চ অনুমোদিত প্রবাহ - - - - mA

R_L = ...kΩ

(I) OR গেটের ইনপুট ও আউটপুটের উপাত্ত ও সত্যসারণি :

সারণি-3

(a) উপাত্তের সারণি

ইনপুট বিভব ভোল্ট		আউটপুট বিভব ভোল্ট
A	B	C
0	0	--
0	5	--
5	0	--
5	5	--

(b) সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(II) AND গেটের ইনপুট ও আউটপুটের উপাত্ত ও সত্যসারণি :

সারণি-4

(a) উপাত্তের সারণি

ইনপুট বিভব ভোল্ট		আউটপুট বিভব ভোল্ট
A	B	C
0	0	--
0	5	--
5	0	--
5	5	--

(b) সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

14.4 সংহতবর্তনী IC (Integrated Circuits)

ডায়োড, ট্রানজিসটার, রোধ ইত্যাদি উপাদানগুলি পৃথকভাবে ব্যবহার করে OR, AND, NOT ইত্যাদি গেট প্রস্তুত করার পরিবর্তে বর্তমানে একটি সিলিকন চিপের (chip) [বিশেষ চিপ প্রায় 50 mil × 50 mil ক্ষেত্র ও mil উচ্চতা। 1 mil = 25μm = 25×10^{-6} m] উপর বহুসংখ্যক সক্রিয় (active) ও নিষ্ক্রিয় (passive) উপাদান পরস্পর সংযুক্ত করে বর্তনী গঠন করা হয়। 1 বর্গ ইঞ্চি কেকের (wafer) মধ্যে 50 mil × 50 mil আকারের 400 টির মতো চিপ থাকতে পারে। প্রতিটি চিপে 50 টির মতো পৃথক উপাদান থাকলে 1 বর্গ ইঞ্চি আকারের কেকে $50 \times 400 = 20,000$ উপাদান থাকতে পারে। এদের সংহত বর্তনী (Integrated Circuit সংক্ষেপে IC) বলে। এদের আকার ছোটো, দামে সস্তা ও এগুলিতে শক্তি ব্যয়ও খুব কম বলে এদের ব্যবহারও খুব বেশি। এদের নির্ভরতা ও ক্রিয়া খুবই উচ্চ মানের।

আঙ্কিক বা ডিজিট্যাল (digital) IC র মধ্যে যেগুলি সাধারণত ব্যবহৃত হয়, সেগুলি নিম্নরূপ ঃ

IC 7404, 6টি NOT গেট যুক্ত।

IC 7408/7409, 4টি দু-ইনপুট AND গেট যুক্ত।

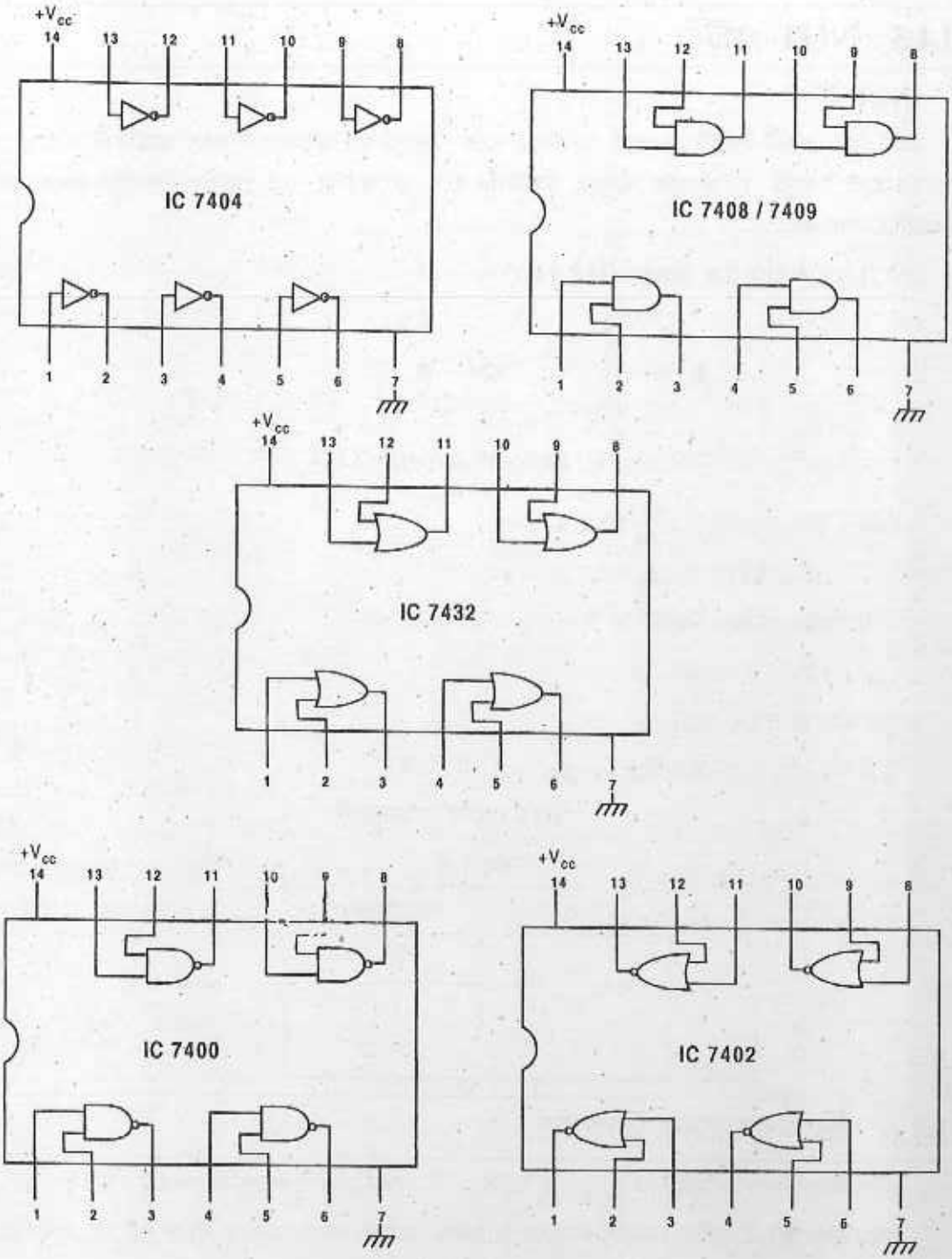
IC 7432, 4টি দু-ইনপুট OR গেট যুক্ত।

IC 7400, 4টি দু-ইনপুট NAND গেট যুক্ত।

IC 7402, 4টি দু-ইনপুট NOR গেট যুক্ত।

7400 শ্রেণির IC গুলি TTL (Transistor Transistor Logic) মেনে চলে।

এইসব চিপে 14টি পিন থাকে। একসারিতে 7টি ও বিপরীত দিকের সারিতে 7টি পিন থাকে। চিপের উপর খাঁজকাটা জায়গা থেকে গুনতে হয়। 7 নং পিন ভূমির সঙ্গে ও 14 নং পিন 5 V পাওয়ার সাপ্লাই-এর সঙ্গে যুক্ত করতে হয়। নিচের 14.6 চিত্রে 7404, 7408, 7432, 7400, 7402 IC গুলির পিন সংযুক্তি দেখানো হয়েছে।



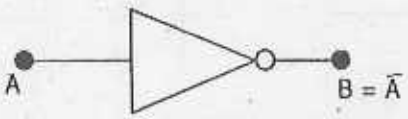
চিত্র 14.6 : কয়েকটি সংহত বর্তনী (IC)

14.5 NOT গেট

NOT গেট ঃ

এই গেটে একটি ইনপুট ও একটি আউটপুট থাকে। ইনপুট '0' অবস্থায় থাকলে আউটপুট হবে '1' অবস্থা এবং ইনপুট '1' অবস্থায় থাকলে আউটপুট হবে '0' অবস্থা। এই গেটকে বিপরীত কারক বা ইনভার্টার বলা হয়।

NOT এর প্রতীক চিহ্ন নিম্নরূপ (চিত্র 14.7)



চিত্র 14.7 : NOT গেট

অর্থাৎ $B = NOT\ 0 = 1$, যখন $A = 0$

$B = NOT\ 1 = 0$, যখন $A = 1$

NOT গেটের প্রক্রিয়া নিম্নলিখিত উপায়েও প্রকাশ করা হয়

$B = NOT\ A$ বা $B = \bar{A}$

পড়া হয়—B সমান NOT A

বা B সমান A র কমপ্লিমেন্ট (complement) বা পূরক।

NOT গেটের সত্যসারণি

সারণি-5

ইনপুট	আউটপুট
A	B
0	1
1	0

14.6 ডি মরগ্যানের উপপাদ্য

বুলীয় বীজগণিতে ও ডিজিটাল (digital) বর্তনীতে ডি মরগ্যানের উপপাদ্য বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়।

প্রথম উপপাদ্য ঃ বুলীয় চলরাশি সমূহের লজিকীয় যোগের পূরক তাদের পূরক সমূহের লজিকীয় গুণের সমান হয়। অর্থাৎ

$$\overline{A + B + \ldots + N} = \bar{A}.\bar{B}\ldots\bar{N}$$

দ্বিতীয় উপপাদ্য ঃ বুলীয় চলরাশি সমূহের লজিকীয় গুণের পূরক তাদের পূরক সমূহের লজিকীয় যোগের সমান হয়। অর্থাৎ

$\overline{A.B...N} = \overline{A} + \overline{B} + ... + \overline{N}$

দুটি চলরাশির ক্ষেত্রে

$\overline{A+B} = \overline{A}.\overline{B}$ ও $\overline{AB} = \overline{A} + \overline{B}$

14.7 IC NAND গেট ব্যবহার করে NOT, AND ও OR গেট গঠন ও এদের সত্যসারণি প্রমাণের পরীক্ষা

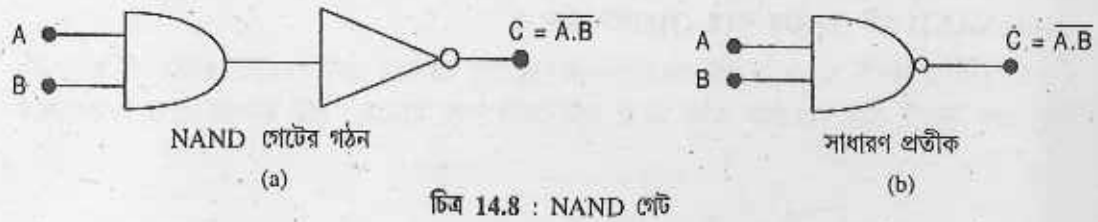
(a) প্রয়োজনীয় যন্ত্রাদি ঃ

(i) একটি 7400 IC (দু ইনপুট NAND গেট), (ii) ব্রেড বোর্ড (iii) একটি 5 V পাওয়ার সাপ্লাই (iv) একটি 0–5 V ডিসি ভোল্টমিটার (v) সংযোগকারী তার ইত্যাদি।

(b) মূলতত্ত্ব ঃ

NAND গেট ঃ এটি NOT-AND গেটের সমাহার। AND গেটের আউটপুটে NOT গেট যুক্ত করে NAND গেট পাওয়া যায়। এই গেটে দুটি বা বেশি ইনপুট সংকেত থাকে কিন্তু আউটপুট সংকেত হয় একটি। সব ইনপুটগুলি '1' অবস্থায় থাকলে আউটপুট '0' হয়।

দু-ইনপুট NAND গেটের প্রতীক চিহ্ন নিম্নরূপ (চিত্র 14.8)



NAND গেটের গঠন (a)

সাধারণ প্রতীক (b)

চিত্র 14.8 : NAND গেট

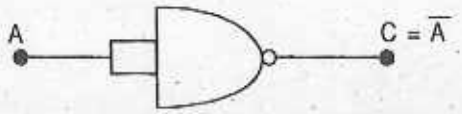
NAND গেটের সত্যসারণি

সারণি-6

ইনপুট		আউটপুট
A	B	$C = \overline{A.B}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(i) NAND গেট ব্যবহার করে NOT গেট গঠন ঃ

14.9 চিত্রে NAND গেট থেকে NOT গেট গঠন দেখানো হয়েছে। NAND গেটের দুটি ইনপুট যুক্ত করলে এক ইনপুট NAND গেট পাওয়া যায়। এটি NOT গেটের মতো ক্রিয়া করে।

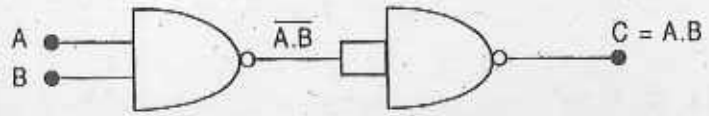


চিত্র **14.9** : NAND গেট থেকে NOT গেট

$C = \overline{A.B} = \overline{A.A} = \overline{A}$ = NOT গেটের আউটপুট।

(ii) NAND গেট ব্যবহার করে AND গেট গঠন ঃ

14.10 চিত্রে দুটি NAND গেট ব্যবহার করে AND গেট গঠন দেখানো হয়েছে। প্রথম NAND

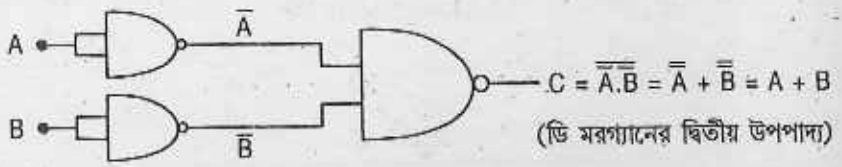


চিত্র **14.10** : NAND গেট থেকে AND গেট

গেটের দুটি ইনপুট A ও B। এর আউটপুট $\overline{A.B}$। পরের গেটের দুটি ইনপুট যুক্ত করে ওখানে প্রথম গেটের আউটপুট $\overline{A.B}$ প্রয়োগ করে দ্বিতীয় গেটের আউটপুটে C = A.B পাওয়া যাবে।

(iii) NAND গেট ব্যবহার করে OR গেট গঠন ঃ

14.11 চিত্রে তিনটি NAND গেট ব্যবহার করে OR গেট গঠন দেখানো হয়েছে। প্রথম দুটি NAND গেটকে এক ইনপুট NAND গেট তথা NOT গেট তৈরি করা হয়েছে। দুটি ইনপুট A ও B যথাক্রমে



চিত্র **14.11**

আউটপুট দেয় $\overline{A}$ ও $\overline{B}$। এ দুটি এবার দুটি ইনপুট হয়ে তৃতীয় NAND গেটে প্রযুক্ত হয়। ডি মরগ্যানের দ্বিতীয় উপপাদ্য অনুযায়ী এর আউটপুট C = A + B হয়।

NAND গেট থেকে NOT, AND ও OR গেট গঠন করা যায়। NAND গেট বারবার ব্যবহার করে বুলীয় বীজগণিতের বিভিন্ন প্রক্রিয়া সম্পন্ন করা যায় বলে একে একটি সর্বজনীন (universal) গেট বলা হয়।

(c) পরীক্ষা পদ্ধতি ঃ

(i) ব্রেড বোর্ডের উপর g ও h লাইনের মধ্যে (চিত্র 14.1) IC 7400 বসিয়ে নিন। 5 V পাওয়ার সাপ্লাই-র ধনাত্মক প্রান্ত a অথবা b লাইনের সঙ্গে এবং ঋণাত্মক প্রান্ত m অথবা n লাইনের সঙ্গে যুক্ত করুন। এতে a বা b লাইনের 1 থেকে 25 পর্যন্ত যে কোনো গর্ত 5 V এর পাওয়ার সাপ্লাই-এর ধনাত্মক প্রান্ত হিসাবে কাজ করবে। তেমনি m বা n লাইনের 1 থেকে 25 পর্যন্ত যে কোনো গর্ত ভূমির মতো (পাওয়ার সাপ্লাইয়ের ঋণাত্মক প্রান্ত) হিসাবে কাজ করবে। তার দিয়ে 7 নং পিন ভূমির লাইনের সঙ্গে ও 14 নং পিন +5 V লাইনের সঙ্গে যুক্ত করুন। ভোল্টমিটারের ঋণাত্মক প্রান্ত ভূমির সঙ্গে ও ধনাত্মক প্রান্ত গেটের (যে গেটটি ব্যবহার করছেন) আউটপুটের সঙ্গে যুক্ত করুন।

(ii) NAND IC টি ঠিক আছে কিনা সেটি প্রথমে নিশ্চিত হতে হবে। যে কোনো একটি গেটের ইনপুটে বিন্যাস অনুসারে A ও B এর বিভিন্ন মান ('0' ও '1' অবস্থা যথাক্রমে ভূমি ও 5 V বোঝায়) প্রয়োগ করুন। ভোল্টমিটারে ঐ গেটের আউটপুট মাপুন। NAND গেটের সত্যসারণির সঙ্গে মিলিয়ে নিন। মিলে গেলে গেটটি ঠিক আছে বোঝা গেল। এভাবে সব গেট গুলি পরীক্ষা করে ঠিক আছে কিনা নিশ্চিত হয়ে নিন।

(iii) এবার দু-ইনপুট NAND গেট থেকে এক ইনপুট NAND গেট তথা NOT গেট তৈরি করতে হবে। যে কোনো একটি NAND গেটের দুটি ইনপুটকে সংযুক্ত করুন (চিত্র 14.9)। ইনপুটে 0 V ও 5 V ('0' ও '1' অবস্থা) পরপর প্রয়োগ করে আউটপুটের পাঠ নিন। এর সত্যসারণি প্রস্তুত করুন। NOT গেটের সত্যসারণির সঙ্গে এটি এক হলে, NOT গেট গঠন প্রমাণিত হল।

(iv) দুটি NAND গেট দিয়ে AND গেট গঠনের জন্য চিত্র 14.10 এর মতো বর্তনী গঠন করুন। চূড়ান্ত আউটপুট ও ভূমির মধ্যে ভোল্টমিটার যুক্ত করুন। এখানে NAND এর দুটি গেট কাজে লেগেছে। A ও B ইনপুটে '0' ও '1' অবস্থার বিভিন্ন সমন্বয় প্রয়োগ করে আউটপুট বিভব ভোল্টমিটার থেকে পরিমাপ করুন। সারণিতে পাঠ লিপিবদ্ধ করুন। সত্যসারণি প্রস্তুত করুন। দেখান যে এটি AND গেটের সত্যসারণির সঙ্গে মিলেছে।

(v) OR গেট গঠনের জন্য তিনটি NAND গেট ব্যবহার করে চিত্র 14.11 এর মতো বর্তনী গঠন করুন। আগের মতো A ও B ইনপুটে '0' ও '1' অবস্থার বিভিন্ন সমন্বয় প্রয়োগ করে আউটপুট ভোল্টমিটারে পরিমাপ করুন। সারণিতে পাঠ লিপিবদ্ধ করুন। এর থেকে সত্যসারণি প্রস্তুত করে দেখান যে এটি OR গেটের সত্যসারণির সঙ্গে মিলেছে।

(d) পরীক্ষালব্ধ ফল ঃ

ব্যবহৃত IC ঃ IC 7400

(I) NAND গেট থেকে NOT গেট গঠনের সারণি ঃ

সারণি-7

(a) প্রাপ্ত উপাত্তের সারণি

ইনপুট বিভব ভোল্ট	আউটপুট বিভব ভোল্ট
A	C
0	..
5	..

(b) সত্যসারণি

ইনপুট	আউটপুট
A	$C = \bar{A}$
0	1
1	0

সিদ্ধান্ত ঃ এক ইনপুট NAND গেট NOT গেটের মতো আচরণ করে।

(II) NAND গেট থেকে AND গেট গঠনের সারণি ঃ

সারণি-8

(a) উপাত্তের সারণি

ইনপুট ভোল্ট		আউটপুট ভোল্ট
A	B	C
0	0	..
0	5	..
5	0	..
5	5	..

(b) সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C = A.B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

সিদ্ধান্ত ঃ দুটি NAND গেট দিয়ে গঠিত বর্তনীটি AND গেটের মতো আচরণ করে।

(III) NAND গেট থেকে OR গেট গঠনের সারণি ঃ

সারণি-9

(a) উপাত্তের সারণি

ইনপুট ভোল্ট		আউটপুট ভোল্ট
A	B	C
0	0	..
0	5	..
5	0	..
5	5	..

(b) সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

সিদ্ধান্ত ঃ তিনটি NAND গেট দিয়ে গঠিত বর্তনীটি OR গেটের মতো আচরণ করে।

14.8 IC NOR গেট ব্যবহার করে NOT, OR ও AND গেট গঠন ও এদের সত্যসারণি প্রমাণের পরীক্ষা

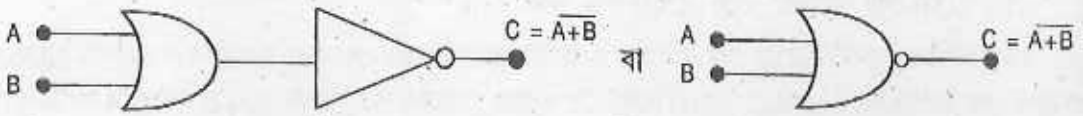
(a) প্রয়োজনীয় যন্ত্রাদি :

(i) একটি 7402 IC (দু ইনপুট NOR গেট), (ii) ব্রেড বোর্ড (iii) একটি 5 V পাওয়ার সাপ্লাই (iv) একটি 0-5 V ডিসি ভোল্টমিটার (v) সংযোগকারী তার ইত্যাদি।

(b) মূলতত্ত্ব :

NOR গেট : এটি NOT-OR গেটের সমাহার, OR গেটের আউটপুটে NOT গেট যুক্ত করে NOR গেট পাওয়া যায়। এই গেটে দুটি বা বেশি ইনপুট সংকেত থাকে কিন্তু আউটপুট সংকেত হয় একটি। সব ইনপুটগুলি '0' অবস্থায় থাকলে আউটপুট '1' হয়।

দু-ইনপুট NOR গেটের প্রতীক চিহ্ন নিম্নরূপ (চিত্র 14.12)



(a) NOR গেটের গঠন (b) সাধারণ প্রতীক

চিত্র **14.12** : NOR গেট

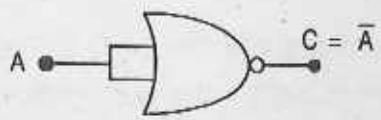
NOR গেটের সত্যসারণি

সারণি-**10**

ইনপুট		আউটপুট
A	B	$C = \overline{A+B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(i) NOR গেট ব্যবহার করে NOT গেট গঠন :

14.13 চিত্রে NOR গেট থেকে NOT গেট গঠন দেখানো হয়েছে। NOR গেটের দুটি ইনপুট যুক্ত



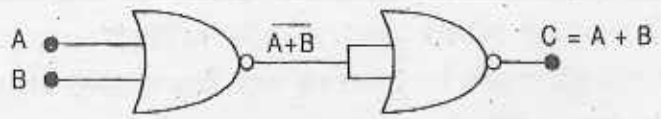
চিত্র **14.13** : NOR গেট থেকে NOT গেট

করলে এক ইনপুট NOR গেট পাওয়া যায়। এটি NOT গেটের মতো ক্রিয়া করে।

$C = \overline{A+B} = \overline{A+A} = \overline{A}$ = NOT গেটের আউটপুট

(ii) NOR গেট ব্যবহার করে OR গেট গঠন ঃ

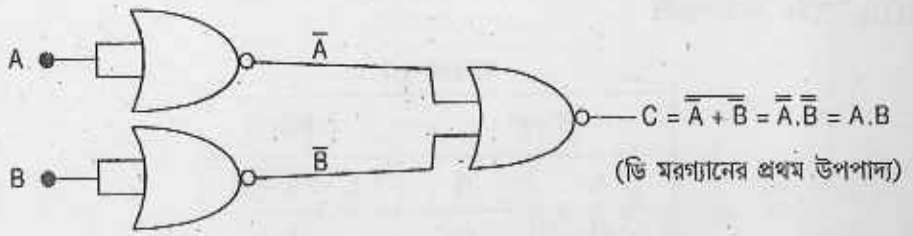
14.14 চিত্রে দুটি NOR গেট ব্যবহার করে OR গেট গঠন দেখানো হয়েছে। প্রথম NOR গেটের দুটি ইনপুট A ও B। এর আউটপুট $\overline{A+B}$। পরের দুটি ইনপুট যুক্ত করে, ওখানে প্রথম গেটের আউটপুট $\overline{A+B}$ প্রয়োগ করে দ্বিতীয় গেটের আউটপুটে C = A + B পাওয়া যাবে।



চিত্র 14.14 : NOR গেট থেকে OR গেট

(iii) NOR গেট ব্যবহার করে AND গেট গঠন ঃ

14.15 চিত্রে তিনটি NOR গেট ব্যবহার করে AND গেট গঠন দেখানো হয়েছে। প্রথম দুটি NOR গেটকে এক ইনপুট NOR গেট তথা NOT গেট তৈরি করা হয়েছে। দুটি ইনপুট A ও B যথাক্রমে আউটপুট দেয় $\overline{A}$ ও $\overline{B}$। এদুটি ইনপুট হয়ে তৃতীয় NOR গেটে প্রযুক্ত হয়। ডি মরগ্যানের প্রথম উপপাদ্য অনুযায়ী এর আউটপুট C = A.B হয়।



চিত্র 14.15 : NOR গেট থেকে AND গেট

NAND গেট থেকে যেমন NOT, AND ও OR গেট গঠন করা যায়, তেমনি NOR গেট ব্যবহার করেও NOT, AND ও OR গেট গঠন করা যায়। NAND গেটের মতো NOR গেটও ব্যবহার করে বুলীয় বীজগণিতের বিভিন্ন প্রক্রিয়া সম্পন্ন করা যায়। তাই NOR গেটকেও NAND গেটের মতো সর্বজনীন গেট বলা হয়।

(c) পরীক্ষা পদ্ধতি ঃ

(i) ব্রেড বোর্ডের উপর g ও h লাইনের মধ্যে (চিত্র 14.1) IC 7402 বসান। 5 V পাওয়ার সাপ্লাইয়ের ধনাত্মক প্রান্ত a বা b লাইনের সঙ্গে ও ঋণাত্মক প্রান্ত m বা n লাইনের সঙ্গে যুক্ত করুন। এতে a বা b লাইনের (1 থেকে 25 পর্যন্ত) যে কোনো গর্ত থেকে পাওয়ার সাপ্লাইয়ের ধনাত্মক প্রান্ত ও একইভাবে

m বা n লাইনের যে কোনো গর্ত (1 থেকে 25 পর্যন্ত) থেকে ঋণাত্মক প্রান্ত পাওয়া যাবে। IC এর 7 নং পিন ভূমির (ঋণাত্মক প্রান্ত) সঙ্গে (m বা n লাইন) এবং 14 নং পিন 5 V পাওয়ার সাপ্লাইয়ের ধনাত্মক প্রান্তের সঙ্গে (a বা b লাইন) যুক্ত করুন। যে গেট ব্যবহার করছেন তার আউটপুট ও ভূমির মধ্যে ভোল্টমিটারটি যুক্ত করুন।

(ii) NOR IC-র সব গেটগুলি ঠিক আছে কি না প্রথমে যাচাই করে নিন। প্রতিটি গেটের ইনপুটে বিন্যাস অনুসারে A ও B এর বিভিন্ন মান ('0' ও '1' অবস্থা) প্রয়োগ করে আউটপুট দেখে NOR গেটের সত্যসারণির সঙ্গে মিলছে কি না দেখে নিন। গেটগুলি সঠিক আছে নিশ্চিত হয়ে পরের কাজ শুরু করুন।

(iii) দু ইনপুট NOR গেট থেকে এক ইনপুট NOR গেট বা NOT গেট তৈরি করতে হবে। যে কোনো একটি NOR গেটের দুটি ইনপুটকে সংযুক্ত করুন (চিত্র 14.13)। ইনপুটের 0 V ও 5 V পরপর প্রয়োগ করে আউটপুটের পাঠ নিন। এর থেকে সত্যসারণি প্রস্তুত করুন। NOT গেটের সত্যসারণির সঙ্গে মিলে গেলে, NOT গেট গঠন প্রমাণিত হল।

(iv) দুটি NOR গেটের সাহায্যে OR গেট গঠনের জন্য চিত্র 14.14 এর মতো বর্তনী প্রস্তুত করুন। চূড়ান্ত আউটপুটের পাঠ ভোল্টমিটারে পাওয়া যাবে। ভোল্টমিটারটি ঐ আউটপুট ও ভূমির মধ্যে যুক্ত করতে হবে। এবার A ও B ইনপুটে ক্রমান্বয়ে '0' ও '1' অবস্থার বিভিন্ন সমন্বয় প্রয়োগ করে ভোল্টমিটার থেকে আউটপুট বিভব পরিমাপ করুন। সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন এবং এর থেকে সত্যসারণি প্রস্তুত করুন। OR গেটের সত্যসারণির সঙ্গে মিলে গেলে, OR গেট গঠন প্রমাণিত হল।

(v) AND গেট গঠনের জন্য 14.15 চিত্রের মতো তিনটি গেট ব্যবহার করে বর্তনী গঠন করুন। A ও B ইনপুটে '0' ও '1' অবস্থার বিভিন্ন সমন্বয় প্রয়োগ করে চূড়ান্ত আউটপুট পরিমাপ করুন। সারণিতে পাঠ গুলি লিপিবদ্ধ করুন। এর সত্যসারণি প্রস্তুত করুন। দেখান যে এটি AND গেটের সত্যসারণির সঙ্গে মিলেছে

AND গেট গঠনের সত্যতা প্রমাণিত হল।

(d) পরীক্ষালব্ধ ফল :

ব্যবহৃত IC : IC 7402

(I) NOR গেট থেকে NOT গেট গঠনের সারণি :

সারণি-11

(a) প্রাপ্ত উপাত্তের সারণি

ইনপুট বিভব ভোল্ট	আউটপুট বিভব ভোল্ট
A	C
0	..
5	..

(b) সত্যসারণি

ইনপুট	আউটপুট
A	$C = \bar{A}$
0	1
1	0

সিদ্ধান্ত : এক ইনপুট NOR গেট NOT গেটের মতো আচরণ করে।

(II) NOR গেট থেকে OR গেট গঠনের সারণি ঃ

সারণি-12

(a) প্রাপ্ত উপাত্তের সারণি

ইনপুট ভোল্ট		আউটপুট ভোল্ট
A	B	C
0	0	..
0	5	..
5	0	..
5	5	..

(b) সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

সিদ্ধান্ত ঃ দুটি NOR গেট দিয়ে গঠিত বর্তনীটি OR গেটের মতো আচরণ করে।

(III) NOR গেট থেকে AND গেট গঠনের সারণি ঃ

সারণি 13

(a) প্রাপ্ত উপাত্তের সারণি

ইনপুট ভোল্ট		আউটপুট ভোল্ট
A	B	C
0	0	..
0	5	..
5	0	..
5	5	..

(b) সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C = A.B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

সিদ্ধান্ত ঃ তিনটি NOR গেট দিয়ে গঠিত বর্তনীটি AND গেটের মতো আচরণ করে।

14.9 সাবধানতা

(a) ডায়োডের সাহায্যে OR ও AND গঠন ঃ

(i) ডায়োড দিয়ে বর্তনী তৈরি করার আগে ওর p প্রান্ত ও n প্রান্ত সনাক্ত করে নিতে হবে।

(ii) OR ও AND গেট গঠনের সময় R_L এর মান এমন হতে হবে যাতে ডায়োডের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা কখনও যেন অনুমোদিত মানের বেশি না হয়।

(iii) উচ্চ রোধের ভোল্টমিটার ব্যবহার করা উচিত। না হলে এর মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ যথেষ্ট হলে আউটপুট বিভব খুব কম দেখাবে। ডিজিটাল ভোল্টমিটার ব্যবহার করতে পারলে ভালো হয়।

(iv) 5 V বিভব দেওয়ার আগে দেখে নিতে হবে ডায়োডের শ্রেণিতে R_L রোধ ঠিকমতো পড়েছে কি

না। কোনো কারণে শ্রেণিতে রোধ ছাড়া সম্মুখ বায়াসে উচ্চ বিভব যুক্ত হলে প্রবাহ মাত্রা অত্যধিক হবে (অনুমোদিত মাত্রার থেকে অনেক বেশি), ফলে ডায়োড উত্তপ্ত হয়ে নষ্ট হয়ে যাবে।

(v) এখানে ইনপুট ও আউটপুট বিভবের প্রকৃত মানের কোনো প্রয়োজন নেই। এগুলি উচ্চ মানের ও নিম্নমানের কি না তাই দেখা দরকার।

(vi) এখানে পরীক্ষাগুলি ধনাত্মক লজিকের জন্য করা হয়েছে। ঋণাত্মক লজিক ব্যবহার করেও এগুলি সম্পন্ন করা যায়। দেখানো যায় ঋণাত্মক লজিক (নিম্ন বিভব হবে '1', উচ্চবিভব হবে '0') ব্যবহার করলে, ঋণাত্মক লজিক ব্যবহৃত OR গেট ধনাত্মক লজিক ব্যবহৃত AND গেটের অনুরূপ হয়। একইভাবে ঋণাত্মক লজিকের AND গেট ধনাত্মক লজিকের OR গেটের অনুরূপ।

(b) **IC-র সাহায্যে NOT, OR ও AND গেট গঠন ঃ**

(i) ব্রেড বোর্ডে IC বসানোর সময় দেখতে হবে যাতে এটি ঠিকমতো বোর্ডের গর্তের মধ্যে বসে। ব্রেড বোর্ডে বসানো ও ওখান থেকে তোলার সময় যেন পিন না ভাঙ্গে বা না বাঁকে সে বিষয়ে সচেতন থাকতে হবে।

(ii) কোনো কোনো ব্যবস্থায় অনেকগুলি ইনপুটের ব্যবস্থা থাকে। না থাকলে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক লাইন প্রস্তুত করে সেখান থেকে প্রয়োজন মতো অনেকগুলি ইনপুট তৈরি করা হয়।

(iii) যে সব IC নিয়ে পরীক্ষা করতে হবে সেগুলির প্রত্যেকটি গেট সঠিক আছে কিনা পরীক্ষা করে নিশ্চিত হতে হবে। কোনো গেট খারাপ থাকলে তাকে চিহ্নিত করে ব্যবহার থেকে বাদ দিতে হবে।

14.10 সারাংশ

(1) বর্তমানে কমপিউটার ইত্যাদি আঙ্কিক তন্ত্রে (digital systems) বুলীয় বীজগণিত ব্যবহৃত হয়। এই গণিতের সুবিধে হল এতে মাত্র দুটি পদ 0 ও 1 ব্যবহৃত হয়। এই সব যন্ত্রে বিভিন্ন প্রক্রিয়া সম্পন্ন করা হয় লজিক গেটের সাহায্যে।

ডায়োডের সাহায্যে কীভাবে OR ও AND গেট গঠন করা হয় এবং NAND ও NOR IC ব্যবহার করে NOT, OR ও AND গেট গঠন করা যায়।

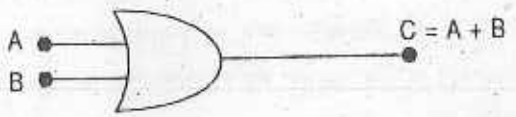
(2) পরীক্ষা ঃ ডায়োডের সাহায্যে OR ও AND গেট গঠন ঃ সেগুলির পরীক্ষা হবে।

(a) **মূলতত্ত্ব ঃ**

(i) **OR গেট ঃ** এই গেটে দুটি বা বেশি ইনপুট সংকেত থাকে ও একটি আউটপুট সংকেত থাকে। (সংকেত থাকলে তাকে উচ্চ বিভব বা '1' ধরা হয় আর সংকেত না থাকলে তাকে নিম্নবিভব বা '0' ধরা হয়।) ইনপুটের যে কোনো একটি '1' অবস্থায় থাকলে আউটপুট '1' অবস্থায় থাকে। ইনপুটের সবগুলি '0' অবস্থায় থাকলে আউটপুট '0' অবস্থায় থাকে।

দু ইনপুট OR গেটের প্রতীক ও সত্য সারণি নিচে দেওয়া হল।

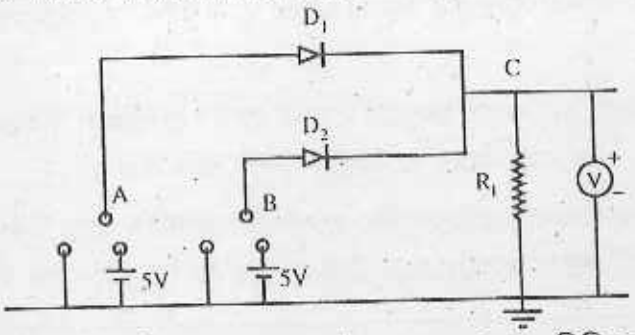
A ও B যথাক্রমে ইনপুট ও C আউটপুট



সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

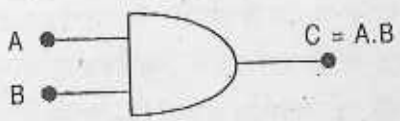
● দুটি অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে OR-এর বর্তনী গঠন



D_1, D_2 দুটি অর্ধপরিবাহী ডায়োড, R_L = রোধ ∪ 10 kΩ, V = ডিসি ভোল্টমিটার, A ও B দুটি ইনপুট ও C আউটপুট।

(ii) **AND গেট :** এই গেটে দুটি বা বেশি ইনপুট থাকে ও একটি আউটপুট থাকে। সবগুলি ইনপুট '1' অবস্থায় থাকলে আউটপুট '1' অবস্থায় থাকে, অন্যথায় '0' অবস্থায় থাকে।

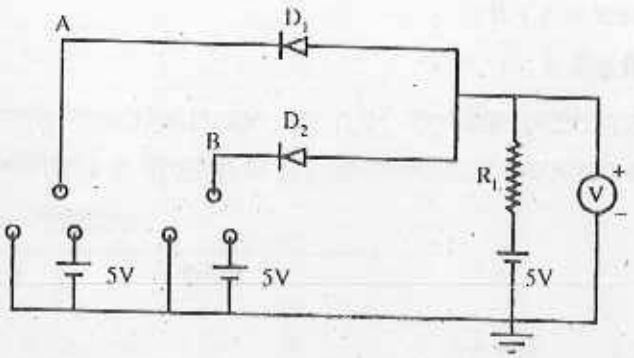
দু ইনপুট AND গেটের প্রতীক ও সত্যসারণি নিচে দেওয়া হল, A ও B যথাক্রমে ইনপুট ও C আউটপুট



সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C = A.B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

● দুটি অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে AND এর বর্তনী গঠন ঃ

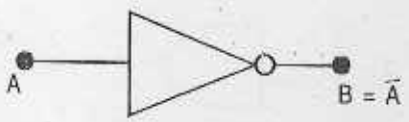


D_1, D_2 দুটি অর্ধপরিবাহী ডায়োড, R_L = রোধ ⊔ 10 kΩ, V = ডিসি ভোল্টমিটার, A ও B দুটি ইনপুট ও C আউটপুট।

(iii) পরীক্ষা পদ্ধতি ঃ প্রদর্শিত বর্তনী অনুযায়ী ব্রেড বোর্ডের উপর ডায়োড D_1, D_2, রোধ R_L (⊔ 1 kΩ), (0–5 V) ডিসি ভোল্টমিটার, 5 V পাওয়ার সাপ্লাই বসিয়ে নিন। পরীক্ষার আগে ডায়োডগুলি ঠিক আছে কিনা নিশ্চিত হয়ে নিন। 5 V পাওয়ার সাপ্লাই থেকে পর্যায়ক্রমে 5 V ও 0 V, ডায়োড দুটির A ও B ইনপুটে প্রয়োগ করার ব্যবস্থা করে নিন। OR গেট ও AND গঠন করে পর্যায়ক্রমে দুটি ইনপুটে 0V, 0V; 0V, 5V; 5V, 0V; ও 5V : 5 V প্রয়োগ করে আউটপুট বিভব প্রভেদ পরিমাপ করুন। উচ্চ বিভব ও নিম্ন বিভব যথাক্রমে '1' ও '0' অবস্থা বোঝায়, প্রাপ্ত উপাত্ত লিপিবদ্ধ করুন। OR গেটের ও AND গেটের সত্যসারণি প্রস্তুত করুন ; এদের প্রাপ্তির সত্যতা প্রমাণ করুন।

(3) **NOT গেট ঃ** এই গেটে একটি ইনপুট ও একটি আউটপুট। ইনপুটে নিম্ন বিভব দিলে আউটপুটে উচ্চ বিভব ও ইনপুটে উচ্চ বিভব দিলে আউটপুটে নিম্ন বিভব পাওয়া যায়। '0' বা '1' অবস্থা ইনপুটে দিলে আউটপুটে '1' বা '0' অবস্থা পাওয়া যায়, এই গেটকে বিপরীত কারক বা ইনভার্টার বলে।

NOT গেটের প্রতীক চিহ্ন ও সত্যসারণি নিচে দেওয়া হল।



সত্যসারণি

ইনপুট	আউটপুট
A	B
0	1
1	0

(4) ডি মরগ্যানের উপপাদ্য ঃ

প্রথম উপপাদ্য ঃ $\overline{A + B + ... + N} = \bar{A}.\bar{B}...\bar{N}$

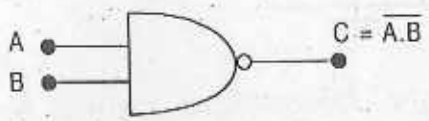
দ্বিতীয় উপপাদ্য ঃ $\overline{A.B. .... .B} = \bar{A} + \bar{B} + ... + \bar{N}$

দুটি চলরাশির ক্ষেত্রে

$\overline{A+B} = \overline{A}.\overline{B}$ ও $\overline{A.B} = \overline{A} + \overline{B}$

4. NAND ও NOR গেট :

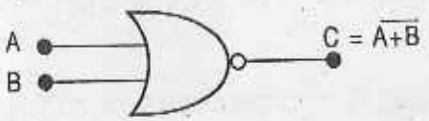
NAND গেট : AND গেটের আউটপুটে NOT যুক্ত করে NAND গেট পাওয়া যায়। দু ইনপুট NAND গেটের প্রতীক ও সত্যসারণি নিচে দেওয়া হল। A ও B ইনপুট ও C আউটপুট।



সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	$C = \overline{A.B}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

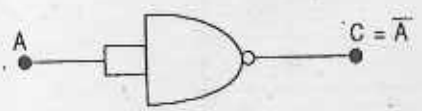
NOR গেট : OR গেটের আউটপুটে NOT যুক্ত করে NOR গেট পাওয়া যায়। দু ইনপুট NOR গেটের প্রতীক ও সত্যসারণি নিচে দেওয়া হল। A ও B ইনপুট ও C আউটপুট।



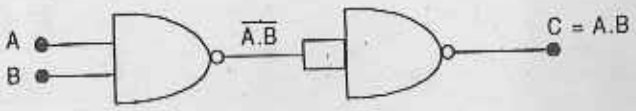
সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	$C = \overline{A+B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

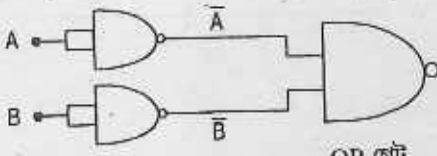
5. NAND গেট ব্যবহার করে NOT, AND ও OR গেট গঠন :



NOT গেট



AND গেট

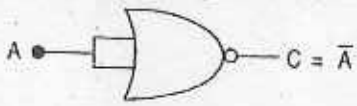


$C = \overline{\overline{A}.\overline{B}} = \overline{\overline{A}} + \overline{\overline{B}} = A + B$

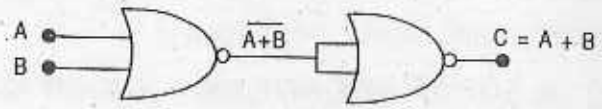
(ডি মরগ্যানের দ্বিতীয় উপপাদ্য)

OR গেট

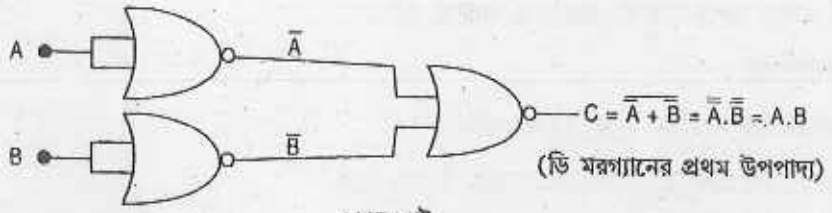
6. NOR গেট ব্যবহার করে NOT, OR ও AND গেট গঠন :



NOT গেট



OR গেট



AND গেট

(7) সংহত বর্তনী (Integrated Circuit বা সংক্ষেপে IC) :

বর্তমানে সিলিকনের ক্ষুদ্র চিপের উপর ডায়োড, ট্রানজিসটর, রোধ ইত্যাদি বহুসংখ্যক সক্রিয় (active) ও নিষ্ক্রিয় (passive) উপাদান প্রস্তুত করে বৃহৎ আকারের বর্তনী খুব ক্ষুদ্র জায়গায় তৈরি করে নেওয়া হয়। এদের সংহত বর্তনী (IC) বলে। প্রায় 1 বর্গ ইঞ্চি আকারের কেকে প্রায় 20,000 উপাদান থাকতে পারে। এদের আকার ছোটো, দামে সস্তা ও শক্তি ব্যয়ও খুব কম। এদের নির্ভরতা ও ক্রিয়া খুব উচ্চমানের। এদের ব্যবহার তাই অত্যন্ত বেশি। কয়েকটি ডিজিট্যাল IC যেগুলো সাধারণত ব্যবহৃত হয় সেগুলির নাম নিচে দেওয়া হল।

IC 7404, 6টি NOT গেট যুক্ত।

IC 7408/7409, 4টি দু-ইনপুট AND গেট যুক্ত।

IC 7432, 4টি দু-ইনপুট OR গেট যুক্ত।

IC 7400, 4টি দু-ইনপুট NAND গেট যুক্ত।

IC 7402, 4টি দু-ইনপুট NOR গেট যুক্ত।

7400 শ্রেণির IC গুলি TTL মেনে চলে।

এইসব চিপে 14টি পিন থাকে। চিপের উপর একটি বিশেষ খাঁজ থাকে। ওখান থেকে পিনগুলো গোনা শুরু করতে হয়। 7 নং পিন ভূমির সঙ্গে (5 V পাওয়ার সাপ্লাইয়ের ঋণাত্মক প্রান্ত) ও 14 নং পিন 5 V পাওয়ার সাপ্লাইয়ের সঙ্গে ধনাত্মকপ্রান্ত যুক্ত করতে হয়। এদের পিন সংযুক্তি চিত্র 14.6এ দেখানো হয়েছে।

8. পরীক্ষা পদ্ধতি : NAND গেট থেকে, NOT, AND ও OR গেট গঠন :

ব্রেড বোর্ডের মাঝে দুদিকে পিন রেখে IC 7400 (NAND) বসিয়ে 7 নং পিনে 5 V সাপ্লাইয়ের ঋণাত্মক প্রান্ত ও 14 নং পিনে ধনাত্মক প্রান্ত যোগ করতে হবে। IC 7400 র প্রত্যেকটি গেট ঠিক আছে

কি না আগে পরীক্ষা করতে হবে। এবার গেটগুলি পরপর ব্যবহার করে NOT, AND ও OR গেট গঠন করতে হবে। ইনপুট আউটপুটের পাঠ নিয়ে NOT, AND ও OR গেটের সত্যসারণি প্রস্তুত করতে হবে ও এদের সত্যতা প্রমাণিত করতে হবে।

(b) **NOR গেট থেকে NOT, OR ও AND গেট গঠন ঃ**

একইভাবে IC 7402 (NOR) গেট বসিয়ে, NOT, OR ও AND গেট গঠন করতে হবে। এদের সত্যসারণি প্রস্তুত করে সত্যতা প্রমাণিত করতে হবে।

9. **সাবধানতা ঃ**

(a) ডায়োডের সাহায্যে OR, AND গঠন ঃ

(i) ডায়োডের প্রান্তগুলি ঠিকমতো সনাক্ত করতে হবে।

(ii) ডায়োডের শ্রেণিতে যুক্ত রোধের মান এমন হবে যাতে প্রবাহমাত্রা অনুমোদিত মানের থেকে কম হয়।

(iii) উচ্চ অভ্যন্তরীণ রোধের ভোল্টমিটার ব্যবহার করতে হবে।

(iv) শ্রেণিতে রোধ ছাড়া ডায়োড কখনও সরাসরি সম্মুখ বায়াসে দেওয়া যাবে না।

(v) ইনপুট আউটপুট বিভবের প্রকৃত মানের প্রয়োজন নেই। উচ্চ ও নিম্নমানের হল কিনা তাই দেখতে হবে।

(vi) এখানে ধনাত্মক লজিক ব্যবহৃত হয়েছে। ঋণাত্মক লজিকও ব্যবহার করা যায়।

(b) IC-র সাহায্যে NOT, OR ও AND গেট গঠন ঃ

(i) ব্রেড বোর্ডের মাঝখানে বিশেষ জায়গায় বসাতে হবে যাতে প্রত্যেকটি পিন পৃথক পৃথক লাইনে থাকে।

(ii) বসানোর সময় বা তোলার সময় IC-র পিনগুলি যাতে না বাঁকে বা না ভাঙ্গে সে বিষয়ে সতর্ক থাকতে হবে।

(iii) চিপএর প্রত্যেকটি গেট সঠিক আছে কিনা আগে তা দেখে নিতে হবে।

14.11 প্রশ্নাবলি ও উত্তরমালা

প্রশ্নাবলি ঃ

1. ডিজিট্যাল বর্তনী কাকে বলে ?
2. লজিক গেট কাকে বলে ?
3. OR গেট কী ? দু ইনপুট OR গেটের প্রতীক চিহ্ন লিখুন।
4. AND গেট কী ? দু ইটপুট AND গেটের প্রতীক চিহ্ন লিখুন।

5. NOT গেট কী ? NOT গেটের প্রতীক চিহ্ন লিখুন।

6. IC বলতে কী বোঝেন ?

7. NAND গেট কাকে বলে ?

8. NOR গেট কাকে বলে ?

9. NAND ও NOR গেটকে সর্বজনীন গেট বলে কেন ?

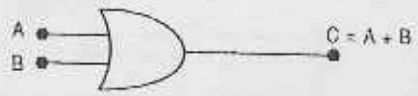
10. ডি মরগ্যানের উপপাদ্য দুটি কী কী ?

উত্তরমালা ঃ

1. এই বর্তনীতে বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়, এর সংকেতগুলি হয় 0 বা 1; অথবা নিম্নমানের বিভব বা উচ্চমানের বিভব। এই বর্তনীতে '0' ও '1' বিভিন্ন ইনপুটে ব্যবহার করে, যুক্তিযুক্ত আউটপুট পাওয়া যায়-তাও '0' ও '1' দিয়ে চিহ্নিত হয়।

2. লজিক গেট হল এমন একটি ইলেকট্রনিক বর্তনী যার এক বা একাধিক ইনপুট সংকেত থাকলে, আউটপুট হবে যুক্তিযুক্ত সিদ্ধান্ত।

3. OR গেটে দুটি বা বেশি ইনপুট থাকে কিন্তু আউটপুট থাকে একটি। ইনপুটে যে কোনো একটিতে '1' অবস্থা হলে আউটপুটে '1' অবস্থা পাওয়া যাবে। সব ইনপুটে '0' অবস্থা হলে আউটপুট '0' অবস্থা হবে।

প্রতীক চিহ্ন ঃ 

A ও B ইনপুট ও C আউটপুট।

4. AND গেটে দুটি বা বেশি ইনপুট এবং একটি আউটপুট থাকে। সব ইনপুটগুলি '1' অবস্থায় থাকলে আউটপুট '1' অবস্থায় থাকে। যে কোনো একটি ইনপুটে '0' অবস্থা থাকলে আউটপুট '0' অবস্থায় থাকে।

প্রতীক চিহ্ন ঃ

A ও B ইনপুট ও C আউটপুট।

5. NOT গেটে একটি ইনপুট ও একটি আউটপুট থাকে। ইনপুট '0' অবস্থায় থাকলে আউটপুট '1' অবস্থায় থাকবে ও ইনপুট '1' অবস্থায় থাকলে আউটপুট '0' অবস্থায় থাকবে। একে বিপরীত কারক বা ইনভার্টার বলা হয়।

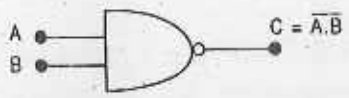
প্রতীক চিহ্ন ঃ

A ইনপুট, B আউটপুট।

6. ক্ষুদ্র সিলিকন চিপের উপর ডায়োড, ট্রানজিসটর, রোধ ইত্যাদি উপাদান প্রস্তুত করে বৃহৎ ইলেকট্রনিক বর্তনী খুব ক্ষুদ্র জায়গায় তৈরি করা হয়। এদের IC বলা হয়। একটি ছোটো কেকে কয়েক হাজার উপাদানের বর্তনী প্রস্তুত করা যায়। আকারে ছোটো, দামে সস্তা, নির্ভরতা ও ক্রিয়া খুব উচ্চমানের। শক্তি ব্যয়ও খুব কম। আজকাল সমস্ত ইলেকট্রনিক যন্ত্রাদিতে এদের ব্যবহার লক্ষ্য করা যায়।

7. AND গেটের আউটপুটে NOT যুক্ত করলে NAND গেট হয়। দু ইনপুট NAND গেটের প্রতীক ও সত্যসারণি ঃ

প্রতীক চিহ্ন ঃ



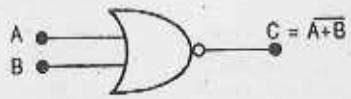
এর যে কোনো ইনপুটে '0' থাকলে আউটপুট '1' হবে।

সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	$C=\overline{A.B}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

8. OR গেটের আউটপুটে NOT যুক্ত করলে NOR গেট হয়। দু ইনপুট NOR গেটের প্রতীক ও সত্যসারণি ঃ

প্রতীক



এর যে কোনো ইনপুটে '1' থাকলে আউটপুট '0' হবে।

সত্যসারণি

ইনপুট		আউটপুট
A	B	$C=\overline{A+B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

9. NAND ও NOR গেট ব্যবহার করে অন্য যে কোনো গেট তৈরি করা যায় বলে এদের সর্বজনীন গেট বলে।

10. ডি মরগ্যানের উপপাদ্য ঃ

প্রথম উপপাদ্য ঃ বুলীয় চলরাশিগুলির লজিকীয় যোগের পূরক তাদের পূরকগুলির লজিকীয় গুণের সমান।

দুটি চলরাশির ক্ষেত্রে $\overline{A+B}=\overline{A}.\overline{B}$

দ্বিতীয় উপপাদ্য ঃ বুলীয় চলরাশিগুলির লজিকীয় গুণের পূরক তাদের পূরকগুলির লজিকীয় যোগের সমান।

দুটি চলরাশির ক্ষেত্রে $\overline{A.B}=\overline{A}+\overline{B}$

মানুষের জ্ঞান ও ভাবকে বইয়ের মধ্যে সঞ্চিত করিবার যে একটা প্রচুর সুবিধা আছে, সে কথা কেহই অস্বীকার করিতে পারে না। কিন্তু সেই সুবিধার দ্বারা মনের স্বাভাবিক শক্তিকে একেবারে আচ্ছন্ন করিয়া ফেলিলে বুদ্ধিকে বাবু করিয়া তোলা হয়।

—রবীন্দ্রনাথ ঠাকুর

ভারতের একটা mission আছে, একটা গৌরবময় ভবিষ্যৎ আছে ; সেই ভবিষ্যৎ ভারতের উত্তরাধিকারী আমরাই। নূতন ভারতের মুক্তির ইতিহাস আমরাই রচনা করছি এবং করব। এই বিশ্বাস আছে বলেই আমরা সব দুঃখ কষ্ট সহ্য করতে পারি, অন্ধকারময় বর্তমানকে অগ্রাহ্য করতে পারি, বাস্তবের নিষ্ঠুর সত্যগুলি আদর্শের কঠিন আঘাতে ধূলিসাৎ করতে পারি।

—সুভাষচন্দ্র বসু

Any system of education which ignores Indian conditions, requirements, history and sociology is too unscientific to commend itself to any rational support.

—Subhas Chandra Bose

Price : Rs. 225.00

(NSOU-র ছাত্রছাত্রীদের কাছে বিক্রয়ের জন্য নয়)

Published by : Netaji Subhas Open University, DD-26, Sector 1, Salt Lake, Kolkata-700 064
and Printed at : SEVA MUDRAN, 43, Kailash Bose Street, Kolkata-700 006