NETAJI SUBHAS OPEN UNIVERSITY

STUDY MATERIAL

ELECTIVE PHYSICS HONOURS

EPH 04 (L)

Practical Physics-1

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

প্রথম পুনর্মুদ্রণ ঃ অক্টোবর, 2019

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–1 সাম্মানিক স্তর

পাঠক্রম ঃ পর্যায় ঃ EPH 04 (L)

	রচনা	সম্পাদনা
একক 1	ড. প্রতীপ কুমার চৌধুরী	ড. অমল কুমার রায়চৌধুরী
একক 2	ঐ	ঐ
একক 3	ঐ	ঐ
একক 4	ঐ	ঐ
একক 5	ঐ	ঐ
একক 6	ড. স্বপন দাস	ড. প্রতীপ কুমার চৌধুরী
একক 7	ড. তারাশংকর নাগ	ঐ
একক 8	ড. স্বপন কুমার দত্ত	ঐ
একক 9	ড. প্রতীপ কুমার চৌধুরী	ড. অমল কুমার রায়চৌধুরী
একক 10	ড. স্বপন কুমার দত্ত	ড. প্রতীপ কুমার চৌধুরী

প্রজ্ঞাপন

এই পাঠ-সংকলনের সমুদয় স্বত্ব 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

EPH 04 (L)

ব্যবহারিক পদার্থবিদ্যা—1

একক 1	❑ লেখচিত্রের সাহায্যে পর্যাবৃত্ত আন্দোলনের ফুরিয়ে-গুণাঙ্ক নির্ণয়	7 – 18
একক 2	❑ স্প্রিং-ভর ব্যবস্থার দোলন ও স্প্রিং-ধ্রুবক	19 – 28
একক 3	❑ ব্যাবর্তন দোলক ও তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয়	29 – 37
একক 4	❑ টানা সুতায় তরঙ্গ সঞ্চার-মেলড্ এর পরীক্ষা	38 – 47
একক 5	❑ কৈশিক নলে জলের প্রবাহ ও জলের সান্দ্রতা	48 – 56
একক 6	❑ ইয়েগার পদ্ধতিতে তরলের পৃষ্ঠটানের পরিমাপ	57 – 69
একক 7	❑ তাপযুগ্মের ব্যবহার—ক্রমাঙ্কন রেখা অঙ্কন ও গলনাঙ্ক নির্ণয়	70 – 84
একক 8	❑ বার দোলকের পরীক্ষা : ভারকেন্দ্র থেকে লম্বনবিন্দুর দূরত্বের সঙ্গে দোলনকালের পরিবর্তন	85 – 100
একক 9	❑ উত্তল ও অবতল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় : স্থানান্তর ও যুগ্মিত পদ্ধতি	101 – 111
একক 10	❑ লী-এর চাকতি পদ্ধতির সাহায্যে তাপ কুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা (thermal conductivity) নির্ণয়	112 – 128

একক 1 ☐ লেখচিত্রের সাহায্যে পর্যাবৃত্ত আন্দোলনের ফুরিয়ে-গুণাঙ্ক নির্ণয়

গঠন

1.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

1.2. ফুরিয়ে গুণাঙ্ক নির্ণয়ের মূলতত্ত্ব

1.2.1 ফুরিয়ে গুণাঙ্ক নির্ণয়ের একটি উদাহরণ

1.3 পরীক্ষা পদ্ধতি

1.3.1 নির্ণীত ফুরিয়ে গুণাঙ্কের ত্রুটি

1.4 অনুশীলনী

1.5 সারাংশ

1.6 উত্তরমালা

1.1 প্রস্তাবনা

প্রকৃতিতে সরল দোলগতি একটি সাধারণ ঘটনা। কিন্তু অনেক সময় এমন পর্যাবৃত্ত গতির দেখা মেলে যা সরল দোলগতি নয়। বরং একাধিক সরল দোলগতির সমন্বয়ে এ ধরনের গতির উদ্ভব হয়। কোন একটি জটিল পর্যাবৃত্ত গতিকে এধাধিক সরল দোলগতিতে বিশ্লেষণ করার জন্য আমরা ফুরিয়ে(Fourier) উপপাদ্য ব্যবহার করি। EPH 01 পাঠক্রমের চতুর্দশ এককে আপনি ফুরিয়ে উপপাদ্য সম্বন্ধে জানতে পেরেছেন। EPH 03 পাঠক্রমের নবম এককে টানা তারের কম্পনের ফুরিয়ে উপাংশগুলি নির্ণয় করা হয়েছে।

আপনি হয়ত অনুভব করেছেন যে ফুরিয়ে উপাংশ নির্ণয়ের গাণিতিক পদ্ধতিটি কম্পনের গাণিতিক রূপ জানা না থাকলে ব্যবহার করা সম্ভব নয়। এমন কি ঐ গাণিতিক রূপ খুব জটিল হলে প্রয়োজনীয় সমাকলগুলি নির্ণয় করা যায় না। ফলে ফুরিয়ে উপাংশগুলি গাণিতিক পদ্ধতিতে বার করা সম্ভব হয় না। এসব ক্ষেত্রে লেখচিত্র পদ্ধতিতে মোটামুটিভাবে ফুরিয়ে উপাংশগুলি নির্ণয় করা যায়। এই এককটিতে দেখানো হবে কীভাবে আপনি কোন পর্যাবৃত্ত কম্পনের ফুরিয়ে উপাংশগুলি লেখচিত্রের সাহায্যে নির্ণয় করতে পারেন। এই পর্যাবৃত্ত কম্পনটিকে অবশ্য সর্বত্র একমানযুক্ত (single-valued) এবং সীমিত (finite) হতে হবে। এই শর্তগুলি ভৌতজগতের যে কোন কম্পনই পালন করে।

এই প্রসঙ্গে মনে রাখা প্রয়োজন যে ফুরিয়ে উপাংশগুলি নির্ণয় করার তাৎপর্য কেবলমাত্র তত্ত্বগত নয়। যে কোন সুরেলা শব্দের বৈজ্ঞানিক পরিচয় দিতে তার মূলসুরের কম্পাঙ্কের সঙ্গে ফুরিয়ে উপাংশগুলির আপেক্ষিক

তীব্রতার মান নির্দিষ্ট করা প্রয়োজন। কৃত্রিম উপায়ে শব্দ-সংশ্লেষণের জন্যও এই আপেক্ষিক তীব্রতাগুলি জানা অপরিহার্য।

উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করলে এবং এই এককে লেখচিত্রের সাহায্যে ফুরিয়ে উপাংশ নির্ণয়ের যে পদ্ধতিটি বর্ণিত হবে সেটি অভ্যাস করলে আপনি—

- পর্যাবৃত্ত কম্পনের ফুরিয়ে উপাংশ কাকে বলে তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- যে কোন ভৌত কম্পনের লেখচিত্র থেকে তার ফুরিয়ে উপাংশগুলি বার করতে পারবেন।
- লেখচিত্র অঙ্কন ও লেখের ক্ষেত্রফল নির্ণয়ের ক্ষমতা অর্জন করবেন।

1.2 ফুরিয়ে গুণাঙ্ক নির্ণয়ের মূলতত্ত্ব ঃ

ফুরিয়ের উপপাদ্য অনুযায়ী কোন পর্যাবৃত্ত পরিবর্তনকে উপযুক্ত বিস্তার বিশিষ্ট অনেকগুলি সরল দোলগতির যোগফলরূপে প্রকাশ করা সম্ভব। এই সরল দোলগতির কম্পনগুলি পর্যাবৃত্ত পরিবর্তনের কম্পাঙ্কের সমান বা সরল গুণিতক। গাণিতিক ভাষায়, y (t) যদি $\frac{n}{2\pi}$ কম্পাঙ্কের পর্যাবৃত্ত পরিবর্তন হয় তবে y (t) কে ফুরিয়ে শ্রেণীতে লেখা যায় ঃ

$$y(t) = a_o + a_1 \cos nt + a_2 \cos 2nt + a_3 \cos 3nt + \ldots\ldots$$
$$+ b_1 \sin nt + b_2 \sin 2nt + b_3 \sin 3nt + \ldots\ldots$$
$$= a_o + \sum_{j=1}^{\infty} (a_j \cos jnt + b_j \sin jnt)$$

এখানে a_o, a_j, b_j $(j = 1, 2 \ldots\ldots)$ ধ্রুবক। এগুলির মান হল ঃ

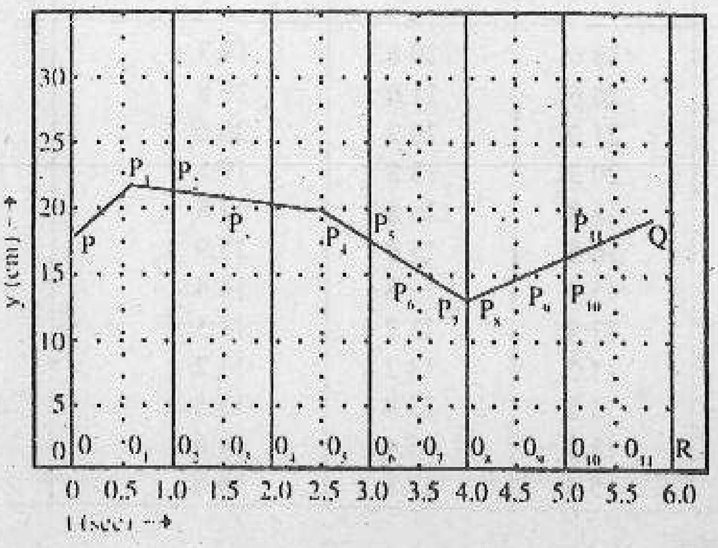
$$a_o = \frac{1}{T}\int_o^T y dt,$$

$$a_j = \frac{2}{T}\int_o^T y \cos jnt dt$$

$$b_j = \frac{2}{T}\int_o^T y \cos jnt dt$$ এখানে T = পর্যাবৃত্ত কম্পনের পর্যায়কাল $= \frac{2\pi}{n}$

আপনি আগেই জেনেছেন যে y (t) এর গাণিতিক রূপ যখন জানা থাকে তখন $\int y\ dt$, $\int y \cos nt dt$ $\int y \sin nt\ dt$, প্রভৃতি সমাকলগুলির মান গাণিতিক পদ্ধতিতে জানা যায়। লেখচিত্র পদ্ধতিতে এগুলির মান

নির্ণয় করতে হলে গ্রাফ কাগজে অনুভূমিক অক্ষে t ধরে প্রথমে t-এর 0 থেকে T পর্যন্ত পাল্লার মধ্যে সমান ব্যবধানে কতকগুলি মান বেছে নিতে হবে। এবার সেই মানগুলির জন্য উলম্ব অক্ষে যে অপেক্ষকটির সমাকলন করতে হবে (যথা y বা $y \cos nt$ বা $y \sin nt$ ইত্যাদি) সেটি প্লট করে ও অপেক্ষকটির লেখ অঙ্কন করে লেখচিত্রের তলায় মোট ক্ষেত্রফল নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র 1.1

লেখচিত্রের ক্ষেত্রফল নির্ণয়ের পদ্ধতিটি আপনি একটি সহজ উদাহরণ থেকে বুঝতে পারবেন। 1.1 চিত্রটিতে 6 সেকেন্ড পর্যায়কালের কোন একটি পর্যবৃত্ত কম্পনের লেখাচিত্রটি দেখানো হল। লেখচিত্রের অনুভূমিক অক্ষে সময় t এবং উলম্ব অক্ষে পর্যায়বৃত্ত কম্পনের সরণ যথাক্রমে সেকেন্ড ও সেন্টিমিটার এককে দেখানো হয়েছে। লেখচিত্রের মোট ক্ষেত্রফল $OPQR$ কে $t = 0.5, 1.0, 1.5, \ldots\ldots 5.5$ সেকেন্ড মানে অঙ্কিত উলম্ব রেখা দ্বারা সমান প্রস্থের কতকগুলি সরু ও লম্বা ট্রাপিজিয়ামে ভাগ করুন। চিত্রে এই ট্রাপিজিয়ামগুলি হল $OPP_1O_1, O_1P_1P_2O_2, O_2P_2P_3O_3, \ldots\ldots$ ইত্যাদি। PP_1, P_1P_2 প্রভৃতি রেখাগুলি বক্র হলেও এগুলির দৈর্ঘ্য খুবই কম হওয়ায় এগুলিকে সরলরেখা ধরা হয়েছে। ট্রাপিজিয়ামগুলির প্রস্থ ধরুন, d। এখন আপনি সহজেই ট্রাপিজিয়ামগুলির ক্ষেত্রফল বার করতে পারেন।

ট্রাপিজিয়াম $OPP_1O_1 = OO_1 \times \frac{1}{2}(OP + O_1P_1) = \frac{d}{2}(OP + O_1P_1)$

ট্রাপিজিয়াম $O_1P_1P_2O_2 = O_1O_2 \times \frac{1}{2}(O_1P_1 + O_2P_2) = \frac{d}{2}(O_1P_1 + O_2P_2)$ ইত্যাদি।

সবকটি ট্রাপিজিয়ামের ক্ষেত্রফলের যোগফলই লেখচিত্রের তলার মোট ক্ষেত্রফল।

নিচের সারণিতে 1.1 চিত্রের লেখচিত্রে $t = 0$ থেকে $t = 6s$ সময়কালের মধ্যের ক্ষেত্রফলটি গণনা করে দেখানো হল ঃ

সারণি 1.1

প্রত্যেক ট্রাপিজিয়ামের প্রস্থ = 0.5 s (d)

ট্রাপিজ নং	উলম্ব বাহুর দৈর্ঘ্য (cm)		গড় (cm) $\frac{1}{2}(y_1 + y_2) = y$	ক্ষেত্রফল $0.5 \times y$ (cm.s)
	বামদিক y_1	ডানদিক y_2		
1	18.0	20.6	19.3	9.65
2	20.6	21.0	20.8	10.4
3	21.0	20.2	20.6	10.3
4	20.2	18.8	19.5	9.75
5	18.8	16.8	17.8	8.9
6	16.8	15.0	15.9	7.95
7	15.0	13.8	14.4	7.2
8	13.8	13.2	13.5	6.75
9	13.2	13.2	13.2	6.6
10	13.2	13.8	13.5	6.75
11	13.8	15.4	14.6	7.3
12	15.4	17.8	16.6	8.3
যোগফল				99.85

সারণি থেকে $\int_0^{6s} y \, dt$ এর মান পাওয়া গেল 99.85 cms

লেখচিত্রের তলার ক্ষেত্রফল নির্ণয়ের যে পদ্ধতি শিখলেন তার সাহায্যে 1.2 সমীকরণগুলিতে যে সমাকলনগুলি আছে তার মান আপনি নির্ণয় করতে পারবেন। এখানে আমরা একটি বাস্তব উদাহরণের সাহায্যে বিশেষ এক ধরনের পর্যাবৃত্ত কম্পনের ফুরিয়ে উপাংশগুলি নির্ণয় করব।

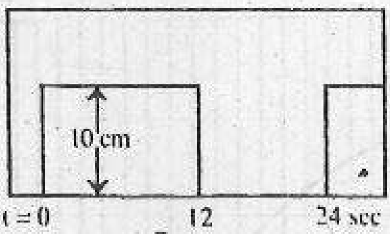
1.2.1 ফুরিয়ে গুণাঙ্ক নির্ণয়ের একটি উদাহরণ

এখানে আমরা যে পর্যাবৃত্ত কম্পনের ফুরিয়ে গুণাঙ্ক নির্ণয় করব সেটির সরণ নিম্নরূপ ঃ

y = 10cm যখন $o \le t < 12s$ অথবা $\ell T \le t < (\ell + \frac{1}{2})T$

এবং y = 0 যখন $12s < t \le 24s$ অথবা $(\ell + \frac{1}{2})T < t \le (\ell + 1)T$

যেখানে T = কম্পনের পর্যায়কাল 24s এবং $\ell = 0, 1, 2, \ldots\ldots$ বা পূর্ণসংখ্যা। এই কম্পনে সরণ 12s এর জন্য 10cm থাকে, পরবর্তী 12s শূন্য হয় এবং গতির পুনরাবৃত্তি ঘটতে থাকে।



চিত্র : 1.2

পাশের 1.2 চিত্রে কম্পনের লেখচিত্র দেখতে পাবেন।

নিচের 1.2 সারণিতে t = 0 থেকে t = 24s এর জন্য 0.5s অন্তর সময় t, সরণ y, কম্পনের মূলসুর, তৃতীয় সমমেল (প্রথম উপসুর), পঞ্চম সমমেল (দ্বিতীয় উপসুর) ও সপ্তম সমমেল (তৃতীয় উপসুর)- এর সাইন অংশগুলি প্রথম ছয়টি স্তম্ভে লেখা হয়েছে। মূলসুরের সাইন অংশ $s1 = \sin \frac{2\pi}{24}t$ বা $\sin(15t)$ এইভাবে তৃতীয়, পঞ্চম ও সপ্তম সমমেলের সাইন অংশগুলি যথাক্রমে $s3 = \sin(45t)^\circ$, $s5 = \sin(75t)$ ও $s7 = \sin(105t)^\circ$ । সপ্তম থেকে দশম স্তম্ভে সাইন অংশগুলিকে y এর মান দিয়ে গুণ করে লেখা হয়েছে।

সারণি 1.2

t (s)	y (cm)	$\sin(15t)^\circ = s_1$	$\sin(45t)^\circ = s_3$	$\sin(75t)^\circ = s_5$	$\sin(105t)^\circ = s_7$	$y.s_1$ (cm)	ys_3 (cm)	ys_5 (cm)	ys_7 (cm)
0.0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	10	.130	.383	.609	.793	1.30	3.83	6.09	7.93
1.0	10	.259	.707	.966	.966	2.59	7.07	9.66	9.66
1.5	10	.383	.924	.924	.383	3.83	9.24	9.24	3.83
2.0	10	.500	1.000	.500	-.500	5.00	10.00	5.00	-5.00
2.5	10	.609	.924	-.130	-.991	6.09	9.24	-1.30	-9.91
3.0	10	.707	.707	-.707	-.707	7.07	7.07	-7.07	-7.07
3.5	10	.793	.383	-.991	.130	7.93	3.83	-9.91	1.30
4.0	10	.866	0	-.866	.866	8.66	0	-8.66	8.66
4.5	10	.924	-.383	-.383	.924	9.24	-3.83	-3.83	9.24
5.0	10	.966	-.707	.259	.259	9.66	-7.07	2.59	2.59
5.5	10	.991	-.924	.793	-.608	9.91	-9.24	7.93	-6.08
6.0	10	1.000	-1.000	1.000	-1.000	10.00	-10.00	10.00	-10.00
6.5	10	.991	-.924	.793	-.608	9.91	-9.24	7.93	-6.08
7.0	10	.966	-.707	.259	.259	9.66	-7.07	2.59	2.59
7.5	10	.924	-.383	-.383	.924	9.24	-3.83	-3.83	9.24
8.0	10	.866	0	-.866	.866	8.66	0	-8.66	8.66
8.5	10	.793	.383	-.991	.130	7.93	3.83	-9.91	1.30
9.0	10	.707	.707	-.707	-.707	7.07	7.07	-7.07	-7.07
9.5	10	.609	.924	-.130	-.991	6.09	9.24	-1.30	-9.91
10.0	10	.500	1.000	.500	-.500	5.00	10.00	5.00	-5.00
10.5	10	.383	.924	.924	.383	3.83	9.24	9.24	3.83
11.0	10	.259	.707	.966	.966	2.59	7.07	9.66	9.66
11.5	10	.130	.383	.609	.793	1.30	3.83	6.09	7.93
12.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.5 থেকে 24.0	0	....	....	.....	......	0	0	0	0

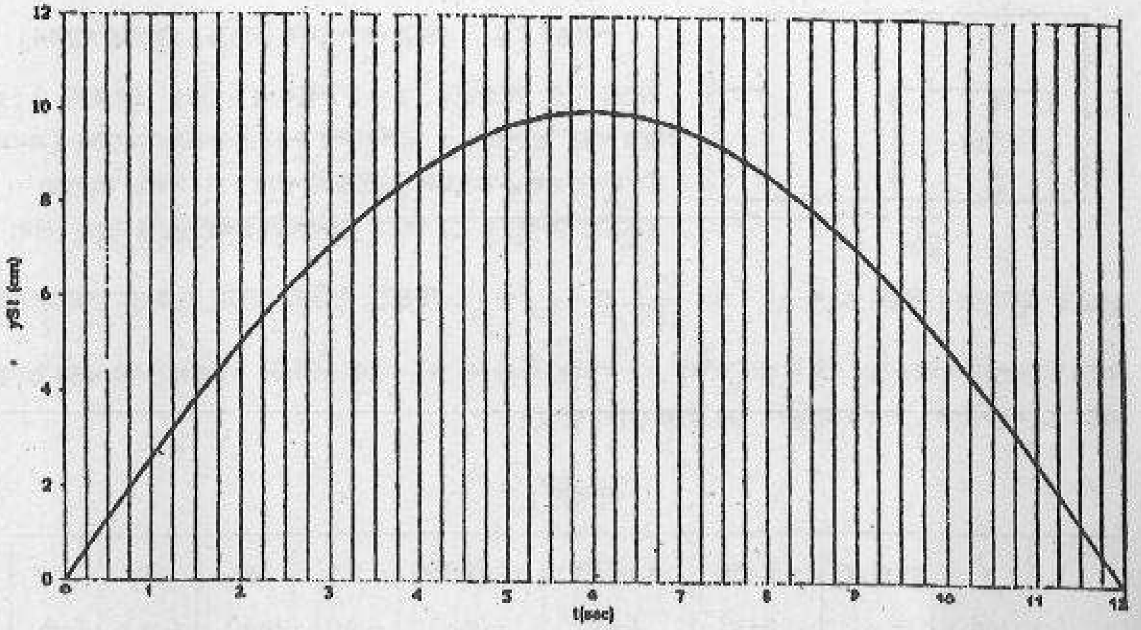


fig 1.3(a)
t-yS1 graph

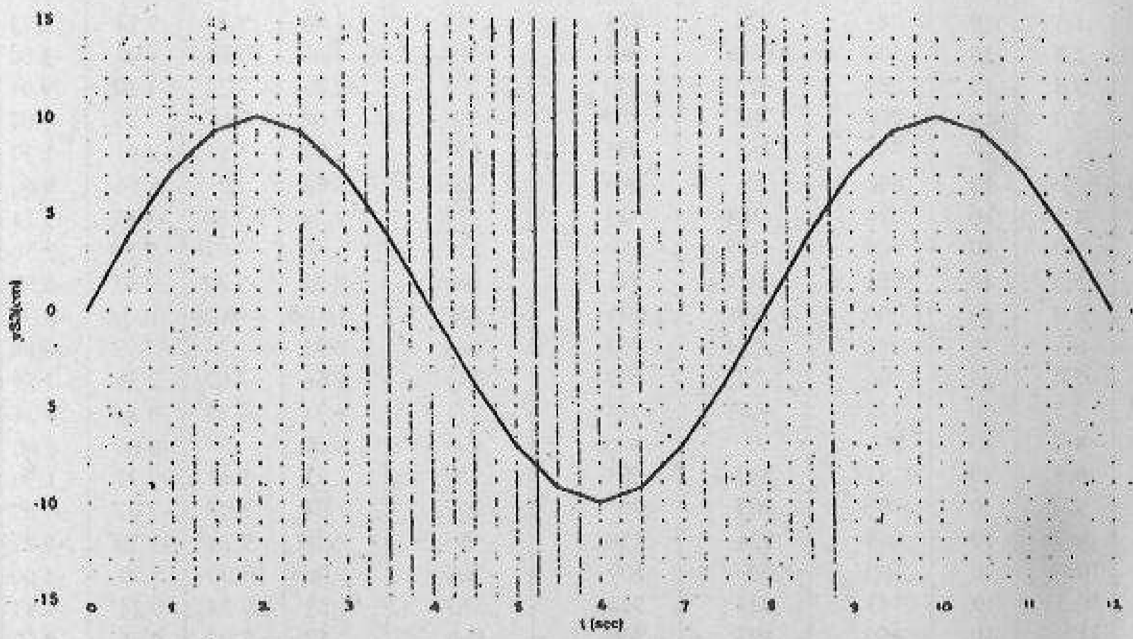
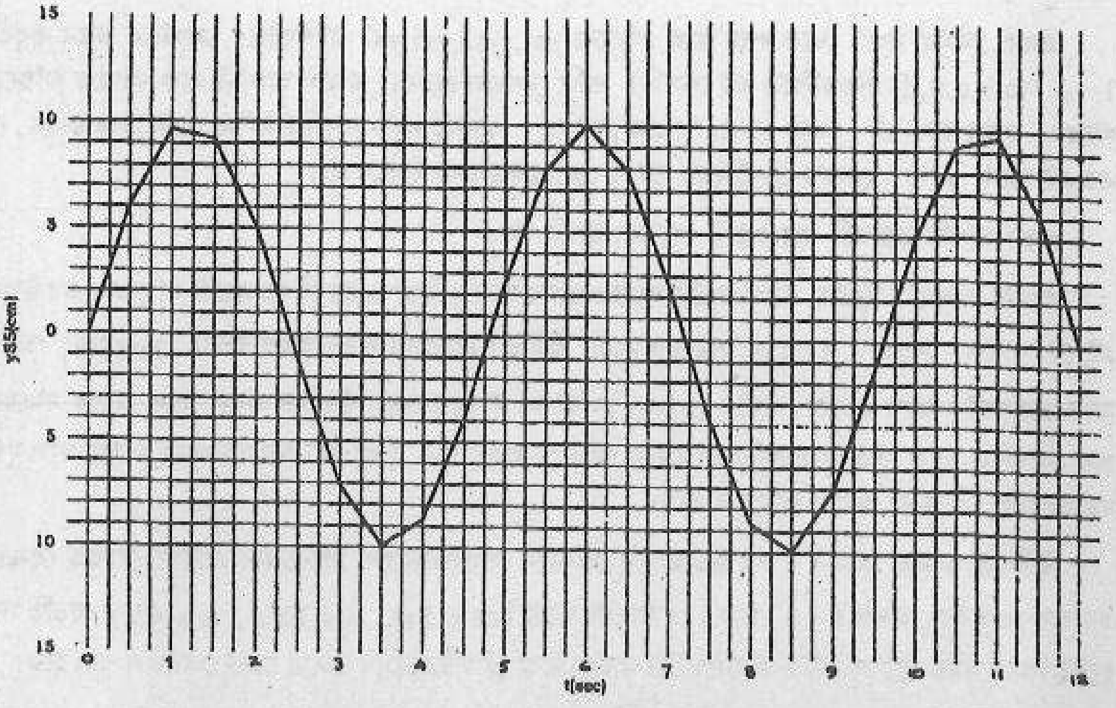
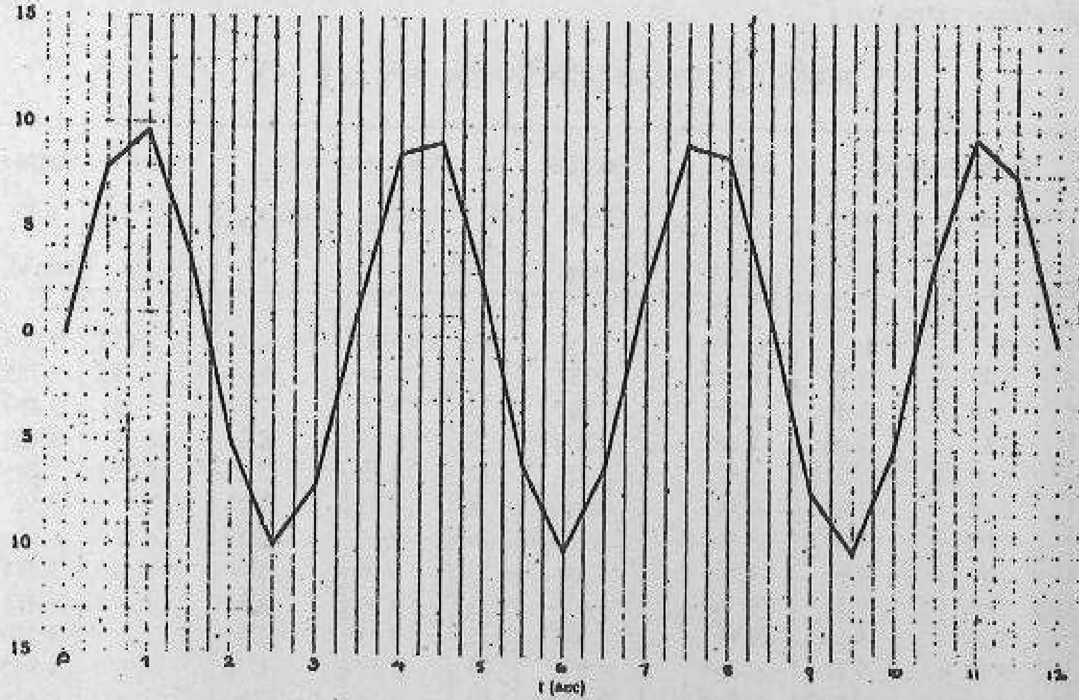


fig 1.3(b)
t-yS3 graph



চিত্র 1.3(c)
t-y35 graph



চিত্র 1.3(d)
t-y37 graph

এবার আমরা সপ্তম থেকে দশম স্তম্ভে দেখানো ys1, ys3,ys5,ys7 রাশিগুলির লেখচিত্র অঙ্কন করব। 1. 3 (a,b,c,ও d) চিত্রগুলিতে এই লেখচিত্র গুলি দেখানো হয়েছে। এগুলি আপনি গ্রাফ কাগজে আঁকতে পারেন। লক্ষ্য করুন যে t-এর 12.0s থেকে 24.0s মানের জন্য লেখচিত্র আঁকা হয়নি। এর কারণ, t-এর এই মানে $y = 0$ হওয়ায় লেখচিত্রের তলায় কোন ক্ষেত্রফলই থাকবে না।

এখন আপনি কয়েকটি প্রশ্ন করতে পারেন। এগুলি হল ঃ

আমরা কম্পনের দ্বিতীয়, চতুর্থ প্রভৃতি সমমেলগুলির জন্য ফুরিয়ে গুণাঙ্ক নির্ণয় করছি না কেন? এর উত্তর এই যে $t=0$- থেকে $t = 12s$ সময়ের মধ্যে দ্বিতীয় সমমেলের সাইন অংশ অর্থাৎ $\sin(30t)^{\circ}$ চতুর্থ সমমেলের সাইন অংশ ইত্যাদি অর্থাৎ $\sin(60t)^{\circ}$ অর্ধেক সময়ের জন্য পজিটিভ এবং বাকি অর্ধেক সময়ের জন্য নেগেটিভ থাকে, সুতরাং লেখচিত্রের তলার মোট ক্ষেত্রফল শূন্য হবে। এটি আগেই জানা থাকার ফলে যুগ্ম সমমেলগুলি বিবেচনা করার প্রয়োজন নেই।

দ্বিতীয়ত, আমরা মূলসুর ও সব সমমেলের কোসাইন অংশগুলিকেও বিবেচনার বাইরে রেখেছি কেন? এর কারণও পূর্ববৎ, অর্থাৎ $t = 0$ থেকে 12s সময়ের মধ্যে $\cos(15t)$ $\cos(30t)^{\circ}$, $\cos(45t)^{\circ}$ প্রভৃতি সব রাশিই সমান সময় ধরে পজিটিভ ও নেগেটিভ থাকবে এবং লেখচিত্রগুলির তলার মোট ক্ষেত্রফল শূন্য হবে।

এবার আমরা ys1, ys3, ys5,ys7 লেখচিত্রগুলির তলার ক্ষেত্রফল গণনা করব। এজন্য আপনি 1.1 সারণির অনুরূপ সারণি ব্যবহার করতে পারেন এখানে এ জাতীয় সারণির সাহায্যে t-ys1 লেখচিত্রের ক্ষেত্রফল পরিমাপ নিচে দেখানো হল ঃ

সারণি 1.3 (প্রত্যেক ট্রাপিজিয়ামের প্রস্থ = 0.55)

ট্রা নং	উলম্ব বাহুর দৈর্ঘ্য		গড় $y = \frac{1}{2}(y_1 + y_2)$ (cm)	ক্ষেত্রফল 0.5Y (cm.s)	ট্রা নং	উলম্ব বাহুর দৈর্ঘ্য		গড় $Y = \frac{1}{2}(y_1 + y_2)$ (cm)	ক্ষেত্রফল 0.5Y (cm.s)
	বামদিক y_1	ডানদিক y_2				বামদিক y_1	ডানদিক y_2		
1	0	0	0.650	.325	13	10.00	9.91	9.955	9.955
2	1.30	2.59	1.945	.973	14	9.91	9.66	9.785	9.785
3	2.59	3.83	3.210	1.605	15	9.66	9.24	9.45	9.450
4	3.83	5.00	4.415	2.208	16	9.24	8.66	8.95	8.950
5	5.00	6.09	5.545	2.773	17	8.66	7.93	8.295	8.295
6	6.09	7.07	6.58	3.290	18	7.93	7.07	7.5	7.50
7	7.07	7.93	7.50	3.750	19	7.07	6.09	6.58	6.58
8	7.93	8.66	8.295	4.148	20	6.09	5.00	5.545	5.545
9	8.66	9.24	8.950	4.475	21	5.00	3.83	4.415	4.415
10	9.24	9.66	9.45	4.725	22	3.83	2.59	3.21	3.210
11	9.66	9.91	9.785	4.893	23	2.59	1.30	1.945	1.945
12	9.91	10.00	9.955	4.978	24	1.30	0	0.65	0.650
								যোগফল	76.286

অর্থাৎ ys1 লেখচিত্রের ক্ষেত্রফল 76.3 cm.s। এটি $\int_o^T y\sin(15t)^\circ dt$ এর সমান

অনুরূপভাবে আপনি দেখতে পারেন ঃ

$$\int_o^T ydt = (10cm \times 12s) + (0cm \times 12s) = 120cm.s$$

$$\int_o^T y\sin(45t)^\circ \, dt = 25.14cm.s.$$

$$\int_o^T y\sin(75t)^\circ \, dt = 14.74cm.s$$

$$\int_o^T y\sin(105t)^\circ \, dt = 10.15cm.s.$$

এখন আমরা ফুরিয়ে গুণাঙ্কগুলি নির্ণয় করতে পারি ঃ

$$a_o = \frac{1}{24} \times 120 = 5.0cm \quad (5.0cm)$$

$$b_1 = \frac{2}{24} \times 76.3 = 6.36cm \quad (\frac{20}{\pi} \text{ বা } 6.366cm)$$

$$b_3 = \frac{2}{24} \times 25.14 = 2.10cm \quad (\frac{20}{3\pi} \text{ বা } 2.122cm)$$

$$b_5 = \frac{2}{24} \times 14.74 = 1.23cm \quad (\frac{20}{5\pi} \text{ বা } 1.273cm)$$

$$b_7 = \frac{2}{24} \times 10.15 = 0.85cm \quad (\frac{20}{7\pi} \text{ বা } .909cm)$$

বন্ধনীর মধ্যে তত্ত্বগত মানগুলি দেওয়া হল, যা থেকে আপনি পরীক্ষালব্ধ মানগুলির সূক্ষ্মতা সম্বন্ধে ধারণা করতে পারবেন।

1.3 পরীক্ষা পদ্ধতি

আগের 1.2.1 অনুচ্ছেদ থেকে আপনি নিশ্চয়ই লেখচিত্রের সাহায্যে ফুরিয়ে গুণাঙ্ক নির্ণয়ের পদ্ধতিটি বুঝতে পেরেছেন। এখানে পরীক্ষার ধাপগুলি দেখে নিন।

(i) যে পর্যাবৃত্ত কম্পনের ফুরিয়ে গুণাঙ্কগুলি নির্ণয় করতে হবে নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে তার সরণের মানগুলি একটি পূর্ণ পর্যায়কালের জন্য তালিকাভুক্ত করুন। 1.2 সারণির প্রথম দুটি স্তম্ভে এটি করা হয়েছে।

(ii) পর্যবৃত্ত কম্পনের লেখচিত্র থেকে বিচার করুন সেটির ফুরিয়ে শ্রেণীতে সাইন ও কোসাইন পদগুলি উপস্থিত থাকবে কিনা। যদি $y(t) = -y(-t)$ হয় অর্থাৎ $t = 0$ বিন্দুর দুইপাশে সমান দূরত্বে y সমমান কিন্তু বিপরীত চিহ্নের হয় তবে কোসাইন পদগুলি থাকবে না। আবার যদি $y(-t) = y(-t)$ হয়, অর্থাৎ $t = 0$ বিন্দুর দুইপাশে লেখচিত্রটি প্রতিসাম্য বিশিষ্ট হয় তবে সাইন পদগুলি থাকবে না। এছাড়া বিশেষ অবস্থায় যুগ্ম বা অযুগ্ম

সমমেলগুলি অনুপস্থিত থাকতে পারে। যে সাইন ও কোসাইন পদগুলি থাকবে বলে মনে করেন সেগুলির প্রথম তিন চারটির মানগুলি তালিকায় লিখুন।

(iii) সাইন ও কোসাইন পদগুলির যে মানগুলি আপনি নির্ণয় করেছেন সেগুলি ব্যবহার করে $y \sin n.\frac{2\pi}{T}t$ এবং $y \cos n.\frac{2\pi}{T}t$ ($n =$ পূর্ণসংখ্যা) প্রভৃতির মানগুলি নির্ণয় করুন। t- এর সঙ্গে এই রাশিগুলির লেখচিত্র অঙ্কন করুন এবং একটি পূর্ণ পর্যায়কালের জন্য লেখচিত্রগুলির তলার ক্ষেত্রফল নির্ণয় করুন। ক্ষেত্রফল নির্ণয় করার পদ্ধতি 1.1 ও 1.3 সারণি দুটিতে বোঝানো হয়েছে।

(iv)1.2 সমীকরণগুলির সাহায্যে এর ফুরিয়ে গুণাঙ্কগুলি নির্ণয় করুন।

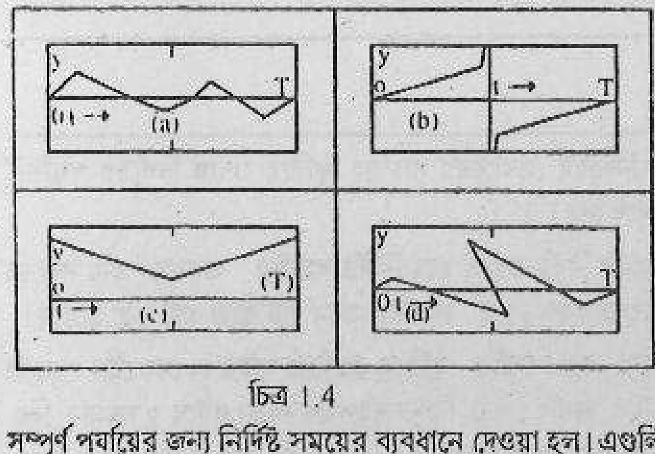
1.3.1 নির্ণীত ফুরিয়ে গুণাঙ্কের ত্রুটি

এই পরীক্ষায় লেখচিত্রের তলার ক্ষেত্রফল নির্ণয়ই ত্রুটির একমাত্র উৎস। লেখচিত্রের বক্ররেখাকে সরলরেখা ধরে নেওয়ার ফলে লেখচিত্রের প্রতিটি ফালির প্রকৃত ক্ষেত্রফল ট্রাপিজিয়ামের ক্ষেত্রফলের চেয়ে সামান্য কমবেশি হবে। লেখচিত্রের বক্রতা যত বেশি হবে, আসন্ন মান গ্রহণের (approximation) ফলে ত্রুটি ও তত বেশি হবে। লক্ষ্য করুন,1.2.1 অংশে যে উদাহরণটি দেওয়া হয়েছে তাতে a_o এর মান ত্রুটিহীন,b_1 ও b_3 এর মানে ত্রুটি 1 শতাংশের মধ্যে কিন্তু b_5 ও b_6 এর ত্রুটি আরও বেশি। এবং $t - ys5$ $t - ys7$ লেখচিত্রগুলিতে সময়ের ব্যবধান 0.5 সেকেন্ডের পরিবর্তে 0.25 বা 0.2 সেকেন্ড নিলে এই ত্রুটি কমানো যেত।

এ থেকে আপনি নিশ্চয় বুঝতে পারছেন যে যত উচ্চতর সমমেলের জন্য ফুরিয়ে গুণাঙ্ক নির্ণয় করবেন, ট্রাপিজিয়াম পদ্ধতিতে ক্ষেত্রফল নির্ণয় করতে হলে তত সরু, অর্থাৎ কম প্রস্থের ট্রাপিজিয়াম নিতে হবে।

এবার আপনার গবেষণাগারের কাজের জন্য কয়েকটি অনুশীলনী দেওয়া হল।

1.4 অনুশীলনী



চিত্র 1.4

(i) 1.4 চিত্রে কয়েকটি পর্যাবৃত্ত অপেক্ষকের লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। এগুলির চরিত্র থেকে বলুন (ক) এগুলির গুণাঙ্ক বার করা যাবে কিনা এবং (খ) যদি ফুরিয়ে গুণাঙ্ক করা যায় তবে সাইন ও কোসাইন পদে সবগুলি থাকবে কিনা।

(ii) নিচের সারণিতে কয়েকটি পর্যাবৃত্ত অপেক্ষকের মান একটি সম্পূর্ণ পর্যায়ের জন্য নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে দেওয়া হল। এগুলির ফুরিয়ে গুণাঙ্ক (অন্তত প্রধান চারটি) নির্ণয় করুন। প্রতিটির পর্যায়কাল 24 সেকেন্ড।

সারণি 1.4

t (s)	$y_1(t)$	$y_2(t)$	$y_3(t)$	$y_4(t)$	$y_5(t)$
0	0	0	0	0	0
1	2	3.18	4.37	2.59	2.59
2	4	6.46	6.84	5.00	5.00
3	6	9.66	8.22	7.07	7.07
4	8	12.12	9.00	8.66	8.66
5	10	13.07	9.44	9.66	9.66
6	12	12.00	9.69	10.00	10.00
7	10	9.07	9.82	9.66	9.66
8	8	5.20	9.90	8.66	8.66
9	6	1.66	9.94	7.07	7.07
10	4	-.46	9.97	5.00	5.00
11	2	-.82	9.99	2.59	2.59
12	0	0	10	0	0
13	-2	.82	5.63	0	2.59
14	-4	.46	3.16	0	5.00
15	-6	-1.66	1.78	0	7.07
16	-8	-5.20	1.00	0	8.66
17	-10	-9.07	.56	0	9.66
18	-12	-12.00	.31	0	10.00
19	-10	-13.07	.18	0	9.66
20	-8	-12.12	.10	0	8.66
21	-6	-9.66	.06	0	7.07
22	-4	-6.46	.03	0	5.00
23	-2	-3.18	.01	0	2.59
24	0	0	.00	0	0

1.5 সারাংশ

এই এককে আপনি লেখচিত্রের সাহায্যে পর্যাবৃত্ত গতির ফুরিয়ে উপাংশগুলি নির্ণয় করতে শিখলেন। পর্যাবৃত্ত গতির একটি সম্পূর্ণ পর্যায় বিভিন্ন মুহূর্তে সরণের মানকে সেই মুহূর্তে cos nt, cos 2nt, cos 3nt, ...sin nt, sin 2nt, sin 3nt ....(n = পর্যাবৃত্ত গতির কম্পাঙ্ক $\times 2\pi$) প্রভৃতি রাশি দিয়ে গুণ করে সময়ের সঙ্গে ঐ গুণফলকে লেখচিত্রে অঙ্কিত করলে, লেখচিত্রগুলির তলার ক্ষেত্রফল পরিমাপ করে ফুরিয়ে শ্রেণীর a_1, a_2, a_3.........., b_1, b_2, b_3........... প্রভৃতি গুণাঙ্কগুলি নির্ণয় করা যায়। আবার সরণের লেখচিত্রের তলার

ক্ষেত্রফল থেকে সরাসরি a_0 গুণাঙ্কটিও নির্ণয় করা যায়।

এই এককের অনুশীলনীতে এমন কয়েকটি পর্যাবৃত্ত কম্পনের উদাহরণ দেওয়া হয়েছে যা বাস্তবক্ষেত্রে ছড় টানা ও আঘাত করা তারে, পর্যায়ক্রমে আহিত ও অনাহিত করা বৈদ্যুতিক ধারকের বিভবে এবং অর্ধ ও পূর্ণতরঙ্গ রেকটিফায়ারের আউটপুট ভোল্টেজে দেখতে পাওয়া যায়।

1.6 উত্তরমালা

(i) (a) এক্ষেত্রে y(t)= -y (-t) সুতরাং সাইন পদগুলি থাকবে, কোসাইন পদগুলি থাকবে না।

(b) এক্ষেত্রে T/2 সময়ে y(t) রাশির অসীম ছেদ (discontinuity) রয়েছে। এজন্য এক্ষেত্রে ফুরিয়ে শ্রেণী পাওয়া যাবে না।

(c) এক্ষেত্রে y(t) =y (-t), ক্ষেত্রে সুতরাং কোসাইন পদগুলি থাকবে, সাইন পদগুলি থাকবে না।

(d) এখানে t- এর একটি পাল্লার মধ্যে y(t) বহুমান বিশিষ্ট। সুতরাং এক্ষেত্রে ফুরিয়ে শ্রেণী পাওয়া সম্ভব নয়।

(ii) $$y_1(t) = \frac{96}{\pi^2}\sin\frac{\pi}{12}t - \frac{96}{9\pi^2}\sin\frac{\pi}{4}t + \frac{96}{25\pi^2}\sin\frac{5\pi}{12}t - \frac{96}{49\pi^2}\sin\frac{7\pi}{12}t + \ldots\ldots$$

$$y_2(t) = 10\sin\frac{\pi}{12}t + 4\sin\frac{\pi}{6}t - 2\sin\frac{\pi}{4}t$$

$$y_3(t) = 5 + 5\sin\frac{\pi}{12}t + \cdot020\sin\frac{\pi}{6}t + \ldots\ldots - 2\cdot47\cos\frac{\pi}{12}t + \cdot068\cos\frac{\pi}{6}t + \ldots\ldots$$

$$y_4(t) = \frac{10}{\pi} + 5\sin\frac{\pi}{12}t - \frac{20}{3\pi}\cos\frac{\pi}{6}t - \frac{4}{3\pi}\cos\frac{\pi}{3}t + \ldots\ldots$$

$$y_5(t) = \frac{20}{\pi} - \frac{40}{3\pi}\cos\frac{\pi}{6}t - \frac{8}{3\pi}\cos\frac{\pi}{3}t + \ldots\ldots$$

একক 2 □ স্প্রিং-ভর ব্যবস্থার দোলন ও স্প্রিং ধ্রুবক

গঠন

2.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

2.2 স্প্রিং-ভর ব্যবস্থার নমন ও দোলন

2.2.1 স্থির অবস্থায় স্প্রিং ধ্রুবক নির্ণয়

2.2.2 দোলন অবস্থায় স্প্রিং ধ্রুবক নির্ণয়

2.3 সারাংশ

2.4 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

2.5 উত্তরমালা

2.1 প্রস্তাবনা

EPHO2 পাঠক্রমের একাদশ এককে আপনি পেঁচানো স্প্রিং-এর ধর্ম সম্বন্ধে পড়েছেন। এ ধরনের স্প্রিং এর দৈর্ঘ্য বরাবর প্রসারক বা সংনমক বল প্রয়োগ করলে স্প্রিং এর দৈর্ঘ্য ঐ বলের সমানুপাতী প্রসারণ বা সংকোচন ঘটে। প্রতি একক দৈর্ঘ্য পরিবর্তনের জন্য স্প্রিং এর উপর যে বল প্রয়োগ করতে হয় তাকেই আমরা ঐ স্প্রিং এর ধ্রুবক বা বল ধ্রুবক বলি।

স্প্রিং এর উপর নির্দিষ্ট পরিমাণের একটি স্থির বল প্রয়োগ করলে তার যে দৈর্ঘ্য প্রসারণ ঘটে তার পরিমাপ থেকে স্প্রিং ধ্রুবকের মান পাওয়া যেতে পারে। এই পদ্ধতিকে আমরা স্থির অবস্থার পদ্ধতি (static method) বলি। স্প্রিং থেকে ঝোলানো একটি ভরকে যদি সাম্য অবস্থা থেকে উপরে বা নিচে বিচ্যুত করে দেওয়া যায় তাহলে ভরটি উলম্ব দিকে সরল দোলগতিতে আন্দোলিত হতে থাকে। এই আন্দোলনের পর্যায়কাল মেপে তার সাহায্যেও আপনি স্প্রিং ধ্রুবকের মান নির্ণয় করতে পারেন। এই পদ্ধতিটি হল স্প্রিং ধ্রুবক নির্ণয়ের দোলন অবস্থার পদ্ধতি (dynamic method)

এই এককে আপনি স্থির অবস্থা ও দোলন অবস্থার পদ্ধতিতে একটি স্প্রিং এর স্প্রিং ধ্রুবক নির্ণয় করতে শিখবেন।

উদ্দেশ্য

এই এককে বর্ণিত পরীক্ষাগুলি করলে তার মাধ্যমে আপনি বিশেষ কয়েকটি নৈপুণ্য অর্জন করবেন। এগুলি হল —

- দর্পণযুক্ত স্কেলের সাহায্যে অথবা সঞ্চলনশীল মাইক্রোস্কোপের (travelling microscope) সাহায্যে একটি সুচকের (pointer) সরণ মাপতে পারবেন।
- সরল দোলগতিতে আন্দোলিত হচ্ছে এমন তন্ত্রের দোলনের পর্যায়কাল স্টপ ওয়াচের সাহায্যে মাপতে পারবেন।
- পরীক্ষালব্ধ উপাত্তগুলিকে সরলরৈখিক লেখচিত্রের আকারে প্রকাশ করতে পারবেন। এবং ঐ সরলরেখার নতি থেকে স্প্রিং এর ভৌতধর্মের নির্ধারণ করতে পারবেন।

2.2 স্প্রিং ভর ব্যবস্থার নমন ও দোলন

স্প্রিং ভর ব্যবস্থার যন্ত্রসজ্জাটি আপনি 2.1 চিত্রে দেখতে পাবেন। এখানে S পরীক্ষাধীন স্প্রিং এবং একটি উলম্ব স্ট্যান্ডের সাহায্যে সেটি উপরের প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ রেখে ঝোলানো আছে। স্প্রিং এর নিচের প্রান্ত থেকে একটি প্যান(P) ঝোলানো আছে। যার উপর ইচ্ছামত বাটখারা রাখা যায়। স্ট্যান্ডের সঙ্গে একটি স্কেল উলম্ব অবস্থায় আটকানো আছে এবং স্প্রিং এর নিচের প্রান্তে সংলগ্ন একটি সূচক ঐ স্কেল বরাবর ওঠানামা করে। স্কেলের উপর সূচকের অবস্থান থেকে স্প্রিং এর নমনের হিসাব করা যায়।

ধরা যাক স্প্রিং ধ্রুবক = k, প্যানের ভর m_o এবং প্যানের উপর m ভর চাপানো হয়েছে। প্যানের উপর ভর চাপানোর আগে সূচকের অবস্থান ছিল z_o এবং m ভর চাপানোর পর ঐ অবস্থান z। অতএব m ভরের জন্য স্প্রিং এর নমন $z - z_o$। স্প্রিং ধ্রুবকের সংজ্ঞা অনুযায়ী স্প্রিং এর উপর বল $mg = k(z - z_o)$ (g = অভিকর্ষজ ত্বরণ) 2.1

এখন যদি m এর বিভিন্ন মানের জন্য সূচকের অবস্থান z লক্ষ্য করা যায় এবং m-z লেখচিত্রটি অঙ্কন করা যায় তবে আমরা একটি সরলরেখা পাব (চিত্র 2.2a)। এই সরলরেখার নতি

$$\tan\theta = \frac{\Delta z}{\Delta m} = \frac{g}{k}$$

সুতরাং $k = \dfrac{g}{\tan\theta}$ 2.2

2.2 সমীকরণ ব্যবহার করে সহজেই স্প্রিং ধ্রুবকের মান বার করা যায়।

স্প্রিং এর নমনের মত স্প্রিং ভরের উলম্ব দোলন থেকেও আপনি স্প্রিং ধ্রুবকের মান বার করতে পারবেন। প্যান ও ভর সমেত স্প্রিং এর নিচের প্রান্তটি যদি কিছুটা টেনে নামাবার পর ছেড়ে দেওয়া যায় তবে স্প্রিং এর প্যান উপর নিচে আন্দোলিত হতে থাকবে। এই আন্দোলনের পর্যায়কাল

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m + m_o + \frac{1}{3}m_s}{K}}$$

যেখানে m_s = স্প্রিং এর নিজস্ব ভর। $\frac{1}{3}m_s$ রাশিটি যোগ হওয়ার কারণ এই যে স্প্রিং এর বিভিন্ন অংশও

যেহেতু আন্দোলিত হয়, স্প্রিং এর নিজস্ব ভর ঝুলানো প্যান ও ভরের জাড্য কার্যকরীভাবে কিছুটা বাড়িয়ে দেয়।

উপরের সূত্রটি এভাবে লেখা যায়ঃ $\frac{k}{4\pi^2}.T^2 = m + m_o + \frac{1}{3}m_s$ ...2.3

অর্থাৎ যদি $m - T^2$ লেখচিত্র অঙ্কন করা যায় তবে আমরা একটি সরলরেখা পাব যার নতি হবে (চিত্র 2.3)

$$\tan\phi = \frac{\Delta T^2}{\Delta m} = \frac{4\pi^2}{k} \quad \text{বা} \quad k = \frac{4\pi^2}{\tan\phi} \qquad ...2.4$$

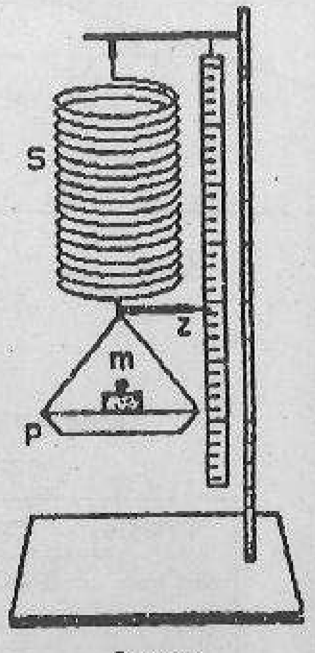
সরলরেখাটির নতির পরিমাপ করে 2.4 সূত্র থেকে সহজেই k এর মান নির্ণয় করা যাবে। আবার উলম্ব অক্ষের সঙ্গে সরলরেখাটির ছেদের পরিমাপ করে $\frac{4\pi^2}{k}(m_o + \frac{1}{3}m_s)$ রাশির মানও পাওয়া সম্ভব।

2.2.1 স্থির অবস্থায় স্প্রিং ধ্রুবক নির্ণয়

স্থির অবস্থার পদ্ধতিতে স্প্রিং ধ্রুবক নির্ণয় করার জন্য নিচে বর্ণিত সহজ ধাপগুলি অনুসরণ করুন।

i) স্প্রিং ও স্কেলটিকে একটি স্ট্যান্ডের সাহায্যে 2.1 চিত্রের মত উলম্বভাবে ঝুলিয়ে দিন। স্প্রিং থেকে বাটখারা রাখার প্যানটি ঝুলিয়ে দিন এবং স্প্রিং এর নিচের প্রান্তের সূচকটি আটকে দিন। সূচকের মুখটি স্কেলটির নিকটে থাকবে কিন্তু সেটিকে স্পর্শ করবে না। স্কেলটি যদি দর্পণের উপর দাগ কেটে তৈরি হয় তবে সূচকটি স্কেলের খুব কাছে না থাকলেও চলে।

ii) স্প্রিং ও প্যানটি মুক্তভাবে উপর – নিচে আন্দোলিত হচ্ছে কিনা তা লক্ষ্য করুন। যদি স্প্রিং এর পাকগুলি পরস্পরকে স্পর্শ করে তাহলে স্প্রিং এর আন্দোলন মুক্তভাবে হবে না। সেক্ষেত্রে প্যানের উপর অল্প ওজন রাখুন যাতে পাকগুলির মধ্যে ফাঁক থাকে। এই ওজনটি প্যানের m_o ভরের মধ্যেই গণ্য হবে।



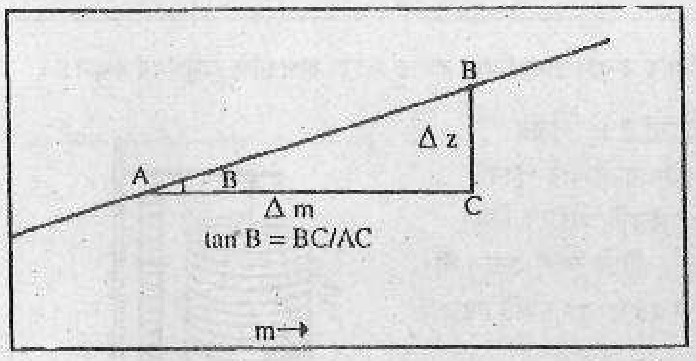
চিত্র -2.1

iii) স্প্রিং ও প্যান স্থির অবস্থায় এলে স্কেলের উপর সূচকের অবস্থান লক্ষ্য করুন। সাধারণ স্কেলের ক্ষেত্রে আপনার চোখ সূচকের সঙ্গে একই উচ্চতায় থাকা প্রয়োজন যাতে স্কেলের পাঠে লম্বন ত্রুটি (Parallax error) না থাকে। স্কেলটি যদি দর্পণের উপর দাগ কেটে তৈরি হয় তবে পাঠের সময় সূচক ও দর্পণে তার প্রতিবিম্ব উপরি পাতিত হলে তখনই পাঠ নেবেন। এই পাঠটিকে প্রাথমিক ভরের জন্য ($m = m_o$) পাঠ হিসাবে সারণিতে লিখুন। সারণির একটি উদাহরণ এই অংশের শেষে দেওয়া হল (সারণি 2.1)।

iv) প্যানের উপর সুবিধামত ওজনের একটি বাটখারা রাখুন এবং প্যানটি স্থির অবস্থায় এলে সূচকের পাঠ নিন। এইভাবে প্যানের উপর ওজন ক্রমশ সমান ধাপে বাড়িয়ে অন্তত ছয়টি পাঠ নিন। স্কেলের দাগ যদি মিলিমিটারের

হয় তবে আপনি চোখে দেখে আন্দাজ করে $\frac{1}{2}$ mm পর্যন্ত সূক্ষ্মতায় সূচকের অবস্থান সারণিতে লিখতে পারবেন। প্যানের উপর ওজন সর্বোচ্চ মানে পৌঁছনোর পর পূর্বের সমান. ধাপে কমাতে থাকুন এবং প্রতি ধাপে পূর্বের মত সূচকের পাঠ নিয়ে সারণিতে লিখুন।

ধরা যাক প্যানের উপর ওজন বাড়ানোর সময় পাঠ $z_0, z_1, z_2, \ldots$ এবং ওজন কমানোর সময় একই ওজনের জন্য পাঠ $z'_0, z'_1, z'_2, \ldots$ ইত্যাদি। প্রতি ওজনের জন্য সূচকের অবস্থানের গড় পাঠ $\frac{z_0 + z_0'}{2}$, $\frac{z_1 + z_1'}{2}$ ইত্যাদি নির্ণয় করুন এবং গ্রাফ-কাগজে সেগুলি প্যানেরউপর ওজনের সঙ্গে লেখচিত্রে অঙ্কন করুন। সারণি 2.1 এ পাঠগুলি লিপিবদ্ধ করার পদ্ধতি দেখানো হয়েছে। লেখচিত্রে অঙ্কিত বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে সবচেয়েবেশি মানানসই (best fitting) সরলরেখাটি অঙ্কন করুন এবং তার নতি $\tan\theta$ নির্ণয় করুন (চিত্র 2.2 (a) তে পদ্ধতিটি দেখানো হয়েছে)।



চিত্র -2.2 (a)

v) এখন 'g' এর জানা মান $(9.79 ms^{-2})$ ব্যবহার করে 2.2 সূত্রের সাহায্যে আপনি স্প্রিং ধ্রুবক

প্রয়োজনীয় যন্ত্রাদি ঃ পরীক্ষাধীন স্প্রিং স্ট্যান্ডের সাহায্যে স্প্রিং ও স্কেলকে ঝোলানোর ব্যবস্থা, প্যান, বাটখারার বাক্স (সাধারণত 1থেকে 200gm তবে স্প্রিং এর দৃঢ়তার উপর নির্ভর করে)।

উপাত্ত সারণি ও গণনা

সারণি 2.1

স্কেলের ক্ষুদ্রতম দাগ 0.5mm (চোখের আন্দাজ ব্যবহার করে)

প্যানের উপর প্রাথমিক ভর = ... gm

বাটখারার ভর m (g)	স্কেলের উপর সূচকের অবস্থানের পাঠ (cm)		
	ওজন বৃদ্ধির সময়	ওজন হ্রাসের সময়	গড় পাঠ (cm) z
0	5.20	5.25	5.23($=z_0$)
5	5.45	5.50	5.48
10	5.70	5.75	5.73
15	6.00	6.00	6.00
20	6.25	6.25	6.25
25	6.55	6.50	6.53
30	6.80	6.80	6.80

স্প্রিং ধ্রুবকের মান নির্ণয় ঃ

লেখচিত্রের সরলরেখা থেকে $BC = \Delta z = ...mm = ...m$

$AC = \Delta m = ...gm = ...kg$

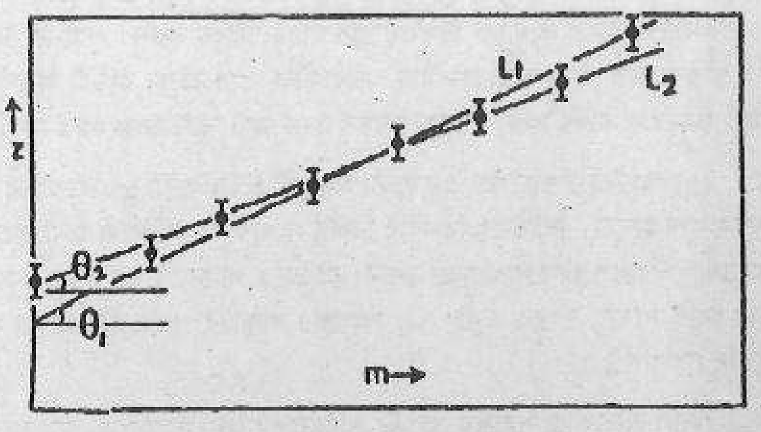
$\therefore$ স্প্রিং ধ্রুবক $k = g/\tan\theta = 9.79/\dfrac{\Delta z}{\Delta m} = ...Nm^{-1}$

নির্ণীত মানের ত্রুটি ঃ

এই পরীক্ষায় $\tan\theta$ রাশির ত্রুটিই k এর মানের ত্রুটির একমাত্র উৎস। বাটখারাগুলির ভরের ত্রুটি নগণ্য ধরে নেওয়া যেতে পারে। z এর প্রতিটি পাঠে সর্বোচ্চ ত্রুটি 0.5 mm ধরে নিয়ে, লেখচিত্রটির বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন নতির দুটির সরলরেখা (L_1 ও L_2 চিত্র 2.2b) অঙ্কন করুন। এই সরলরেখা দুটির ক্ষেত্রে $\tan\theta$ এর মান যদি $\tan\theta_1$ ও $\tan\theta_2$ হয় তবে $\tan\theta$ রাশির মধ্যে ত্রুটি $\Delta(\tan\theta) = \frac{1}{2}(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$ ধরা যেতে পারে। সুতরাং k রাশির ত্রুটি ঃ

$$\Delta k = \frac{1}{2} g\left(\frac{1}{\tan\theta_2} - \frac{1}{\tan\theta_1}\right)$$

অথবা $$\Delta k = \frac{g\Delta\tan\theta}{(\tan\theta)^2}$$



চিত্র -2.2 (b)

উপরের যে কোন সূত্র থেকেই আপনি Δk এর মান নির্ণয় করতে পারেন। Δk এর মান নির্ণয়ের পর স্প্রিং ধ্রুবকের পরীক্ষালব্ধ মান আপনি এইভাবে লিখতে পারেন ঃ

$k = ...(k) \pm ....(\Delta k) Nm^{-1}$

স্থৈতিক পদ্ধতিতে স্প্রিং ধ্রুবকের মান নির্ণয়ের পর আপনি নিচের প্রশ্নগুলির উত্তর দিতে পারবেন।

অনুশীলনী 1.

i) সূচকের পাঠ z_0 এর মান ওজন বৃদ্ধি ও ওজন হ্রাসের সময় সমান হওয়া বাঞ্ছনীয়। দ্বিতীয় পাঠটি যদি প্রথমটির চেয়ে অনেক বেশি হয় তবে তা থেকে কী বোঝা যাবে?

ii) স্প্রিং নিজস্ব বা প্যানের ভর এখানে অজ্ঞাত। স্প্রিং ধ্রুবকের মান নির্ণয় করার জন্য এগুলির মান জানা প্রয়োজন কি?

2.2.2 দোলন অবস্থায় স্প্রিং ধ্রুবক নির্ণয়

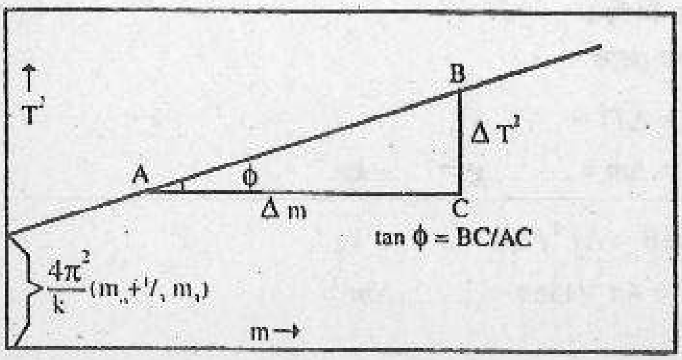
আগের অনুচ্ছেদে যে যন্ত্রব্যবস্থার সাহায্যে আপনি স্থির অবস্থায় স্প্রিং ধ্রুবকের মান নির্ণয় করেছেন সেই ব্যবস্থাটিকেই আপনি দোলন অবস্থায় স্প্রিং ধ্রুবকের মান নির্ণয় করার জন্য ব্যবহার করতে পারেন। এই অনুচ্ছেদের পরীক্ষার যে i) ও ii) যে ধাপদুটি আছে তা এক্ষেত্রেও প্রযোজ্য হবে। তাই পরীক্ষা শুরু করার আগে এই দুটি ধাপ অনুসরণ করুন এবং দেখে নিন যে সূচকটি স্কেলটিকে স্পর্শ না করে উপর- নিচে আন্দোলিত হচ্ছে এবং স্প্রিং এর উপর- নিচে আন্দোলন মুক্তভাবে হচ্ছে, পাকগুলি কখনই পরস্পরকে স্পর্শ করছে না। এবার নিচের ধাপগুলি অনুসরণ করুন।

i) স্প্রিং থেকে ঝোলানো প্যানটিকে নিচের দিকে সামান্য টেনে ধরে ছেড়ে দিন। সেটি তখন উপর নিচে মুক্তভাবে আন্দোলিত হতে থাকবে। প্যানটি যখন সাম্যাবস্থানের মধ্য দিয়ে উপর থেকে নিচে বা নিচ থেকে উপর দিকে যাওয়ার সময় সাম্যাবস্থানকে অতিক্রম করবে, ঠিক তখনই স্টপ ওয়াচ চালু করুন এবং স্প্রিং ও ওজন সমেত প্যানের এক একটি আন্দোলন পূর্ণ হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে এক, দুই, তিন ইত্যাদি গণনা করতে থাকুন। কুড়ি বা তদূর্ধ্ব সংখ্যক আন্দোলনের সংখ্যা ও স্টপওয়াচের পাঠ লিপিবদ্ধ করুন। প্যানের উপর রাখা ভর এক রেখে, অর্থাৎ m এর প্রতি মানের জন্য আগের সমান অথবা ভিন্ন, তবে অন্যূন কুড়িটি আন্দোলনের জন্য আরও দুইবার, অর্থাৎ মোট তিনবার নির্দিষ্ট সংখ্যক আন্দোলনের জন্য মোট অতিক্রান্ত সময় সারণিতে লিখে রাখুন।

(ii) প্যানের উ পর স্প্রিং এর দৃঢ়তা অনুযায়ী 5,10 বা 20 gm ওজনের বাটখারা রাখুন। পূর্বের (i) অংশে যেমন বলা হয়েছে, সেইভাবে তিনবার নির্দিষ্ট সংখ্যক আন্দোলনের জন্য যতটা সময় লাগে সেটি স্টপওয়াচের সাহায্যে পরিমাপ করে সারণিভুক্ত করুন। এইভাবে প্যানের উপর ওজন ক্রমশ সমান ধাপে বাড়িয়ে মোট ছয় বা তার বেশি সংখ্যক ভরের জন্য (i) অংশের কাজটির পুনরাবৃত্তি করুন। প্রয়োজনীয় সারণিটি পরে দেখানো হয়েছে (সারণি 2.2)।

(iii) অতিক্রান্ত সময়ের প্রতিটি পরিমাপের জন্য সারণিতে আন্দোলনের পর্যায়কাল নির্ণয় করুন এবং প্রতিটি ভরের জন্য গড় পর্যায়কাল (T) হিসাব করুন। লেখচিত্র অঙ্কনের জন্য প্রতিক্ষেত্রে T^2 এর মান গণনা করুন।

(iv) লেখচিত্রে $m - T^2$ বিন্দুগুলি বসান এবং সেগুলির মধ্য দিয়ে সবচেয়ে মানানসই সরলরেখা অঙ্কন করুন (চিত্র 2.3)। এই সরলরেখা মূলবিন্দু দিয়ে যাবে না, বরং উলম্ব অক্ষকে $T^2 = \frac{4\pi^2}{k}(m_o + \frac{1}{3}m_s)$ বিন্দুতে ছেদ করবে। সরলরেখাটির নতি $\tan\phi$ নির্ণয় করুন। 2.3 চিত্রে এই নতি নির্ণয়ের পদ্ধতি দেখানো হয়েছে। এখন 2.4 সূত্রের সাহায্যে স্প্রিং ধ্রুবকের মান নির্ণয় করতে পারবেন।



চিত্র -2.3

উপাত্ত সারণি ও গণনা

সারণি 2.2

স্টপওয়াচের ক্ষুদ্রতম নির্ণীত সময় = 0.2s

ভর m(g)	আন্দোলনের সংখ্যা (n)	অতিক্রান্ত সময় t (s)	পর্যায়কাল (s)	গড় পর্যায়কাল (s)	$T^2 (s^2)$
0	20	7.0	0.350	0.347	0.120
	25	8.6	0.344		
	30	10.4	0.347		
10	20	8.4	0.420	0.424	0.180
	25	10.6	0.424		
	30	12.8	0.427		
20	20	9.8	0.490	0.489	0.239
	25	12.2	0.488		
	30	14.6	0.489		
70	20	13.0	0.650	0.648	0.420
	25	16.2	0.648		
	30	19.4	0.647		

স্প্রিং ধ্রুবকের মান নির্ণয় ঃ

লেখচিত্রে সরলরেখা থেকে

$$BC = \Delta T^2 = ...s^2$$

$$AC = \Delta m = ...g = ...kg$$

$$\therefore \tan\theta = \Delta T^2 / \Delta m = ...s^2 kg^{-1}$$

$$\therefore K = 4\pi^2 / \tan\phi = ...Nm^{-1}$$

নির্ণীত মানের ত্রুটি ঃ স্থৈতিক পদ্ধতির মত গতিশীল পদ্ধতিতেও ত্রুটির মূল উৎস পর্যায়কাল মাপার মধ্যেই নিহিত। যে কোন একটি অতিক্রান্ত সময় মাপার সময় দুধরনের ত্রুটি হতে পারে। প্রথমটি ব্যক্তিগত ত্রুটি, যা 0.1s বলে ধরা যেতে পারে। দ্বিতীয়টি স্টপ ওয়াচের ক্ষুদ্রতম পরিমাপযোগ্য সময়ের সমান, যা এখানে 0.2s ধরা হয়েছে। মোটের উপর অতিক্রান্ত সময়ে ত্রুটি 0.2s এবং t = 10s ধরলে $\frac{\Delta t}{t} = 2\%$ । লেখা যায়। তিনটি রাশির গড় মান ব্যবহার করলে এই গড় রাশির ত্রুটি হবে $\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 2$ বা 1.2% অতএব

$$\frac{\Delta(T^2)}{T^2} = \frac{2T\Delta T}{T^2} = 2\frac{\Delta T}{T} = 2.3\% \quad \text{বা} \quad \Delta(T^2) = T^2 \times 2.3\%$$

T^2 রাশির প্রতিটি মানের ত্রুটি এই সূত্রের সাহায্যে বার করে লেখচিত্রে দেখানো যেতে পারে। এর পর স্থৈতিক পদ্ধতির ক্ষেত্রে যে পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়েছে, সেই পদ্ধতিতে $\tan\phi$ এর ত্রুটি বার করা যেতে পারে। k রাশির আনুপাতিক ত্রুটি $\tan\phi$ এর আনুপাতিক ত্রুটির সমান হবে। মোটের উপর অতিক্রান্ত সময় যত বেশি হবে T এর পরিমাণ ততই সূক্ষ্ম হবে এবং k এর নির্ণীত মানে ত্রুটি ততই কম হবে।

গতিশীল পদ্ধতিতে স্প্রিং ধ্রুবকের মান নির্ণয়ের পরীক্ষাটি করার পর নিচের অনুশীলনীটির উত্তর দিতে চেষ্টা করুন।

অনুশীলনী ঃ 2

(i) এই পরীক্ষায় লেখচিত্রে পর্যায়কাল 'T' এর পরিবর্তে T^2 রাশিকে ব্যবহার করা হয়েছে কেন?

(ii) স্থৈতিক অবস্থার পরীক্ষায় অভিকর্ষজ ত্বরণ 'g' জানার প্রয়োজন হলেও বর্তমান পদ্ধতিতে তার প্রয়োজন নেই কেন?

সারাংশ

এই এককটিতে আপনি একটি ধাতব স্প্রিং ধ্রুবক মাপার দুটি পদ্ধতি শিখতে পেরেছেন। এর প্রথম পদ্ধতিটিতে স্প্রিংটিকে একটি নির্দিষ্ট ওজন দিয়ে ঝুলিয়ে তার নমনের পরিমাপ করা হয়েছে। অর্থাৎ স্প্রিংটির উপর একটি স্থির

প্রসারণী বল প্রয়োগ করে তার দৈর্ঘ্যের প্রসারণ সরাসরি মাপা হয়েছে। পরিমাপের সময় স্প্রিংটি স্থির অবস্থায় থাকে, তাই এটি স্থৈতিক পদ্ধতি। দ্বিতীয় পদ্ধতিতে একটি ভরের উলম্ব দোলনে প্রত্যাবর্তক বল প্রয়োগের জন্য স্প্রিংটি ব্যবহৃত হয়েছে এবং দোলনকাল পরিমাপ করে পরোক্ষভাবে স্প্রিং ধ্রুবকের মান নির্ধারণ করা হয়েছে। এখানে স্প্রিং এর গতিশীল অবস্থায় পরীক্ষাটি করেছেন, তাই এটি গতিশীল পদ্ধতি।

পরীক্ষা দুটি করতে গিয়ে আপনি লেখচিত্র অঙ্কন, সাধারণ স্কেল ও স্টপওয়াচের সাহায্যে দৈর্ঘ্য ও সময়ের পরিমাপ সম্বন্ধে মূল্যবান অভিজ্ঞতা ও অভ্যাসের সুযোগ লাভ করেছেন, যা অন্য পরীক্ষাতেও আপনার কাজে লাগবে।

2.4 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

(i) স্থির অবস্থার পদ্ধতি ও দোলন অবস্থার পদ্ধতির মধ্যে কোন পদ্ধতিটি আপনার সহজতর মনে হয়েছে এবং কেন?

(ii) দুটি পদ্ধতিতে পরীক্ষার সূক্ষ্মতা বাড়ানোর জন্য কী করা যেতে পারে?

2.5 উত্তরমালা

অনুশীলনী : 1

(i) এখানে বুঝতে হবে যে স্প্রিংটি তার স্থিতিস্থাপক সীমা অতিক্রম করেছে। পরীক্ষায় যে সর্বাধিক ভার প্যানে চাপানো হয়েছিল তা অত্যধিক হয়েছে এবং সেটি আরও কম রাখতে হবে।

(ii) স্প্রিং ধ্রুবকের মান নির্ণয় করার জন্য স্প্রিং -এর নিজস্ব ভর, প্যানের ভর এমন কি প্রাথমিক ভর জানার প্রয়োজন নেই, কেন না এগুলি স্থির ভর।

অনুশীলনী 2

(i) 2.3 সমীকরণ থেকে স্পষ্ট বোঝা যায় যে M-T লেখটি সরলরেখা না হয়ে অধিবৃত্ত (parabola) হত। লেখটিকে সরলরেখা করার জন্যই 'T^2' ব্যবহার করা হয়েছে, কেননা সরলরেখা সহজেই অঙ্কন করা যায়।

(ii) স্থৈতিক অবস্থায় স্প্রিং-এর উপর স্থির বল প্রয়োগ করার জন্য ওজন ব্যবহার করা হয়েছে। ঐ বলের মান জানার জন্য অভিকর্ষজ ত্বরণের মান জানা দরকার। গতিশীল পদ্ধতিতে ওজনগুলি ঝোলানো প্যানের জাড্য বাড়ানোর জন্য ব্যবহৃত হয়েছে। এখানে অভিকর্ষের ভূমিকা শুধু স্প্রিংটিকে উলম্ব অবস্থায় টান করে রাখা, দোলনের সৃষ্টি নয়। অন্যভাবে বলা যায়, প্রথম পদ্ধতিতে বাটখারাগুলির মহাকর্ষীয় ভর, দ্বিতীয় পদ্ধতিতে সেগুলির জাড্য ভরই প্রাসঙ্গিক ভৌত রাশি।

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী :

(i) এর উত্তর আপনার নিজস্ব অভিজ্ঞতার উপর নির্ভর করে। তবে সাধারণভাবে বলা যায় স্থির অবস্থায়

পদ্ধতিটি সহজতর কেন না এখানে ইচ্ছামত ধীরগতিতে পাঠ নেওয়া যায়, নির্দিষ্ট মুহূর্তে স্টপ ওয়াচের চাবি বন্ধ করার মত কিছু করতে হয় না। বিশেষত দোলন অবস্থার পদ্ধতিতে স্প্রিং-এর আন্দোলন যখন দ্রুত হয় তখন আন্দোলনের সংখ্যা গণনা করা এবং ঠিক সময়ে স্টপওয়াচ চালু ও বন্ধ করা প্রথম দিকে শক্ত মনে হতে পারে।

(ii) স্থির অবস্থার পদ্ধতিতে (ক) সূচকের নমন মাপার জন্য সাধারণ স্কেলের পরিবর্তে ট্রাভেলিং মাইক্রোস্কোপ ব্যবহার করা যেতে পারে। (খ) পছন্দের অবকাশ থাকলে দীর্ঘতর অর্থাৎ বেশি পাকের স্প্রিং ব্যবহার করা যেতে পারে যাতে স্থিতিস্থাপক সীমা অতিক্রম না করে নমন বেশি হয়। দোলন অবস্থার পদ্ধতিতে (ক) আরও অধিক সংখ্যক আন্দোলনের জন্য অতিক্রান্ত সময় মাপা যেতে পারে (খ) সূক্ষ্মতর ইলেকট্রনিক স্টপওয়াচ ব্যবহার করা যেতে পারে। অবশ্য ব্যক্তিগত ত্রুটি কমানো অভ্যাস ছাড়া সম্ভব নয়।

উভয় পদ্ধতিতে উচ্চমানের বাটখারা ব্যবহার করা যেতে পারে যাতে বাটখারার ওজনের তারতম্যের জন্য ত্রুটির অবকাশ না থাকে।

একক □ 3 ব্যাবর্তন দোলক ও তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয়

গঠন

3.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

3.2 ব্যাবর্তন দোলক

3.2.1 তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয়

3.3 সারাংশ

3.4 প্রশ্নাবলী

3.5 উত্তরমালা

3.1 প্রস্তাবনা

আগের এককে আপনি স্প্রিং-এর নমন ও দোলন সংক্রান্ত পরীক্ষা সম্বন্ধে পড়েছেন। পরীক্ষার দ্বারা স্প্রিং ধ্রুবকের মানও নির্ণয় করেছেন। এই স্প্রিং ধ্রুবক স্প্রিং এর উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্কের উপর নির্ভরশীল। এই এককে আপনি এমন একটি পরীক্ষার নির্দেশ পাবেন যার দ্বারা আপনি সরাসরি একটি তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবেন।

ব্যাবর্তন দোলকে একটি উলম্ব 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 ব্যবস্থাটিকেই আমার ব্যাবর্তন দোলক বলি। ব্যাবর্তন দোলনের পর্যায়কাল তারের কৃন্তন দৃঢ়তা (torsional rigidity) এবং উলম্ব 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 —

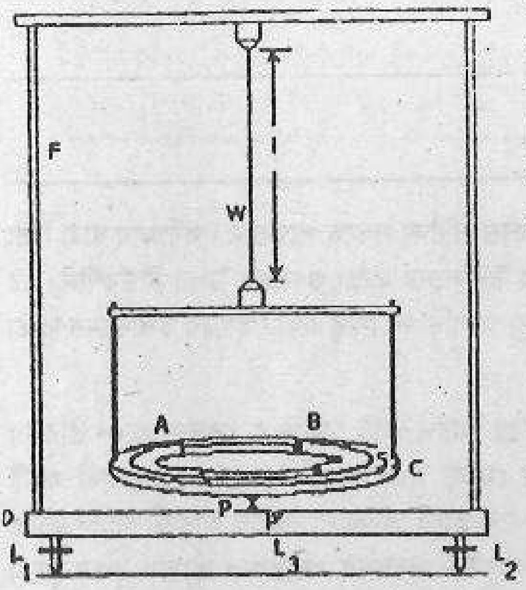
- লেভেলিং স্ক্রুর সাহায্যে ব্যাবর্তন দোলনের কাঠামোটিকে উলম্ব অবস্থায় আনা।

- 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 কোন তারের ক্ষেত্রেই এই দুটি ভৌতরাশির মান নির্ণয় করতে শিখবেন।

3.2 ব্যাবর্তন দোলক

ব্যাবর্তন দোলকের (চিত্র 3.1) 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 3.2)। এগুলিকে মঞ্চের উপর সমাক্ষভাবে রাখা হয়। দোলকের তারটির নিচের প্রান্তে θ কোণে মোচড় দিতে যে বলযুগ্মের প্রয়োজন হয় তার ভ্রামক



চিত্র -3.1

$$\Gamma = \frac{\pi n r^4 \theta}{2\ell} = \tau\theta, \qquad \text{....3.1}$$

যেখানে n = তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক

r ও ℓ = যথাক্রমের তারের প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ ও দৈর্ঘ্য

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

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

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{\tau}} \quad ......3.2$$

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

কেবলমাত্র দোলনার দোলনকাল $T_o = 2\pi\sqrt{I_o/\tau}$

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

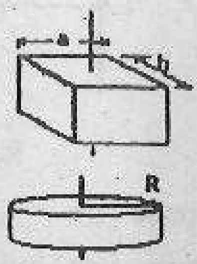
উপরের দুটি সমীকরণ থেকে I_o কে অপনয়ন করলে পাবেন

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

বা, $\tau = 4\pi^2 I/(T^2 - T^2_o)$

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 $I = \frac{1}{12}M(a^2 + b^2)$ । I, T, T_o এর পরিমাপ থেকে τ মান নির্ণয় করা যায়। আবার τ এর মান জানা থাকলে তারের ব্যাসার্ধ ও দৈর্ঘ্য মেপে আপনি সহজেই সেটির উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবেন। কেননা

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



চিত্র 3.2

এবার দেখা যাক উপরের সূত্রগুলি ব্যবহার করে আপনি কীভাবে দৃঢ়তাগুণাঙ্কের মান নির্ণয় করতে পারেন।

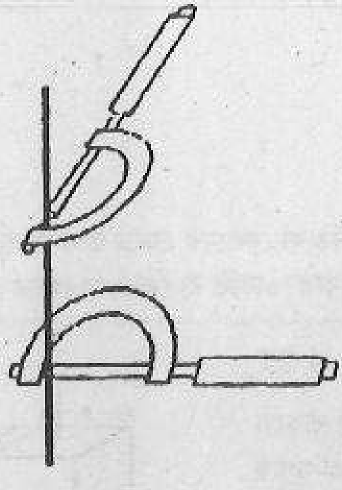
3.2.1 তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয়

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি ঃ ভারসাম্য রক্ষার বাঁকানো দণ্ড 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 3.1)

(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 গোলাকৃতি 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 (3.3 চিত্রে স্ক্রু গেজের অবস্থান দেখানো হয়েছে)। এরূপ দশটি গড় ব্যাসের গড় নিন এবং তা থেকে তারের প্রস্থচ্ছেদের গড় ব্যাসার্ধ r নির্ণয় করুন (সারণি 3.2)।



চিত্র 3.3

(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 $L_1 L_2$ কে পরস্পর উল্টো দিকে ঘুরিয়ে স্পিরিট লেভেলকে অনুভূমিক করুন। এর পর স্পিরিট লেভেলকে L_3 থেকে $L_1 L_2$ 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 25 টি দোলন সম্পূর্ণ হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে স্টপওয়াচ বন্ধ করুন। এইভাবে অন্তত তিনটি ভিন্ন দোলন সংখ্যার জন্য অতিক্রান্ত সময় 3.3 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' সূচকদুটি 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। 3.3 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 নির্ধারিণ করুন। প্রয়োজনীয় সারণিগুলি নীচে দেওয়া হল।

সারণি ও গণনা

সারণি 3.1
জড়তা- ভ্রামক নির্ণয়

ক্যালিপারের ভার্নিয়ার ধ্রুবক = ...cm

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

সারণি 3.2
তারের ব্যাসার্ধ নির্ণয়

স্ক্রু গেজের পিচ (p) = mm ; গোলাকৃতি 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 3.3

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 ব্যাবর্তন ধ্রুবক $$\tau = \frac{4\pi^2 I}{T^2 - T_o^2} = \frac{4 \times 9 \cdot 87 \times \ldots\ldots kgm^2}{(\ldots\ldots)s^2 - (\ldots\ldots)s^2} = \ldots\ Nm/_{rad}$$

তারের উপাদানের দৃঢ়তা গুনাঙ্ক $$n = \frac{2\ell\tau}{\pi r^4} = \frac{2 \times \ldots\ldots\ m \times \ldots\ldots\ \ldots\ldots\ Nm/_{rad}}{3.14\,(\ldots\ldots\ \ldots\ldots\ m)^4}$$

$$= \ldots\ldots\ldots Nm^{-2}$$

নির্ণীত মানের ত্রুটি

এই পরীক্ষায় τ এবং n এর মানে অনেকগুলি উৎস থেকে ত্রুটি ঘটতে পারে। আসুন এগুলি এক একটি ধরে বিবেচনা করা যাক।

I রাশিটির মধ্যে ত্রুটি M এবং R (চাকতি বা বেলনের ক্ষেত্রে) উভয় রাশির পরিমাপ থেকেই আসতে পারে। যদি ধরা যায় M = 600gm এবং এটির পরিমাপে ত্রুটি 1gm এর অধিক নয় তবে $\frac{\Delta M}{M} = \frac{1}{600} = .17\%$ ব্যাসার্ধের পরিমাপে সাধারণভাবে ক্যালিপারের ভার্নিয়ার ধ্রুবকের সমান ত্রুটি ঘটে। তবে চাকতিটির জ্যামিতিক আকার অনিয়মিত হলে ত্রুটি এর বেশিও হতে পারে। ধরা যাক D = 6cm, R = 3 cm এবং ব্যাসের পরিমাপে ত্রুটি = .01cm সেক্ষেত্রে $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta D}{D} = \frac{.01}{6} = .17\%$ সুতরাং $\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta M}{M} + 2\frac{\Delta R}{R} = \cdot 5\%$ । আয়তফলকের ক্ষেত্রেও জড়তা ভ্রামকের পরিমাপে এই পরিমাণ ত্রুটিই ঘটে বলে ধরে নেওয়া যায়।

$T^2 - T_o^2$ রাশিটির মধ্যে T বা T_o পরিমাপের ত্রুটি মোটামুটিভাবে $\frac{1}{50}s$ ধরলে এবং T বা T_o 2s এর কাছাকাছি হলে $\frac{\Delta T}{T}$ বা $\frac{\Delta To}{To} = \frac{1}{100}$ ।সুতরাং

$\Delta(T^2 - T_o^2) = \left[(2T\Delta T)^2 + (2T_o\Delta T_o)^2\right]^{1/2} = 2.(T^2 + T^2{}_o)^{1/2}.\frac{\Delta T}{T} = 2\sqrt{8}.\frac{1}{100}$ বা $.056s^2$ লক্ষ্য করুন $\Delta(T^2 - T_o^2)/(T^2 - T_o^2)$ এর মান T ও T_o যত পৃথক হবে ততই কম হবে। ধরা যাক $T_o = 1.8s, T = 2.2s$। তাহলে

$$\Delta(T^2 - T_0^2)/(T^2 - T_o^2) = .056/1.6 = .035 \text{ বা } 3.5\%$$

এখন τ এর আনুপাতিক ত্রুটি $\frac{\Delta\tau}{\tau} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta(T^2 - T_o^2)}{(T^2 - T_o^2)}$ = .5+3.5 = 4% দৃঢ়তাগুণাঙ্কের পরিমাপে এর সঙ্গে তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাসার্ধের পরিমাপের ত্রুটি যোগ হবে। তারের দৈর্ঘ্য যদি 30 cm হয় এবং যদি এটি 1 mm সূক্ষ্মতায় মাপা হয় তবে $\frac{\Delta\ell}{\ell} = \frac{1}{30} = .3\%$। তারটি সম্পূর্ণ সুসম এবং গোলাকার প্রস্থচ্ছেদের ধরে নিলে তারের ব্যাসের পরিমাপে ত্রুটির মান স্ক্রু গেজের সর্বনিম্ন পরিমাপযোগ্য দৈর্ঘ্যের সমান (ধরুন .01mm) ধরা যেতে পারে। যদি r = 0.4mmহয় তবে $\Delta r = .001/2 = .0005cm$। সুতরাং

$$\Delta(r^4)/r^4 = 4\Delta r/r = 4 \times \cdot 0005/\cdot 04 = \cdot 05 \text{ বা } 5\%$$

দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নিরূপণে মোট ত্রুটি $\frac{\Delta\tau}{\tau} + \frac{\Delta l}{l} + 4\frac{\Delta r}{r} = 4 + \cdot 3 + 5$ অর্থাৎ প্রায় 10%। স্পষ্টই বুঝতে পারছেন

$(T^2 - T_o^2)$ এবং r^4 এই দুটি রাশির পরিমাপ থেকেই মোট ত্রুটির অধিকাংশের উদ্ভব হয়।

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।

3.3 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 ব্যাবর্তন 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।

3.4 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. একটি ব্যাবর্তন দোলকের দোলনার জড়তা ভ্রামক $4\times10^{-4}\ kg\ m^2$। দোলনার উপর সমাক্ষভাবে 3cm ব্যাসার্ধের 500gm 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 - পেন্ডুলাম' সম্বন্ধে পড়েছেন। এটির পর্যায়কাল $2s$। আপনাকে যদি 1mm ব্যাসের পিতলের $(n = 4\times10^{10}\ Nm^{-2})$ তার ও $500gm$ ভর, $4cm$ দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও বেধের একটি ঘনক দেওয়া হয় তবে আপনি কিভাবে একটি 'সেকেন্ড - ব্যাবর্তন-পেন্ডুলাম' তৈরি করবেন?

3.5 উত্তরমালা

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

$$= 2\cdot25\times10^{-4} kg\ \ m^2$$

$\therefore$ বেলন ও দোলনার মোট জড়তা ভ্রামক $(4+2\cdot25)\times10^{-4} = 6\cdot25\times10^{-4} kgm^2$

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

$T_o = 2\pi\sqrt{\frac{4\times10^{-4}}{\tau}}$ এবং $T = 2\pi\sqrt{\frac{6\cdot25\times10^{-4}}{\tau}}$ $\therefore \frac{T}{T_o} = \sqrt{\frac{6\cdot25}{4}} = 1\cdot25$। 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 কোণে ব্যাবর্তন ঘটল।

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

∴ তারের মোট ব্যাবর্তন কোণ $\theta = \theta_1 + \theta_2 = \frac{2\ell t}{\pi n}(\frac{1}{r_1^4} + \frac{1}{r_2^4})$

যদি সমগ্র তারের সমতুল্য ব্যাসার্ধ r হয় তবে $\theta = \frac{2 \cdot 2\ell \cdot t}{\pi n} \cdot \frac{1}{r^4}$

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। এ ক্ষেত্রে তারের অন্য নমুনা ব্যবহার করতে হবে।)

3. ঘনকটির দুই বিপরীত তলের কেন্দ্রবিন্দু দিয়ে যে প্রতিসাম্য অক্ষ কল্পনা করা যায় তার উপর জড়তা ভ্রামক $I = \frac{1}{12} \times 500 gm \times (4^2 + 4^2) gm \ \ cm^2 = 1333 gm \ \ cm^2$

$$= 1 \cdot 333 \times 10^{-4} kg \ \ m^2$$

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

$T = 2s, n = 4 \times 10^{10} Nm^2$

সুতরাং তারের দৈর্ঘ্য $\ell = \frac{T^2}{4\pi} \frac{nr^4}{2I} = \frac{2^2 \times 4 \times 10^{10} \times (5 \times 10^{-4})^4}{8\pi \times 1 \cdot 333 \times 10^{-4}} = 3 \cdot 0$m

একক 4 ❒ টানা সুতায় তরঙ্গ সঞ্চার—মেল্‌ডির পরীক্ষা

গঠন

4.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্যে
4.2 টানা সুতায় স্থাণুতরঙ্গ
4.3 সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়
4.3.1 পরীক্ষার পদ্ধতি
4.3.2 নির্ণীত মানের ত্রুটি
4.4 টানা সুতায় তরঙ্গবেগের সূত্রের প্রতিপাদন
4.4.1 পরীক্ষা পদ্ধতি
4.5 সারাংশে
4.6 প্রশ্নাবলী
4.7 উত্তরমালা

4.1 প্রস্তাবনা

এর আগের এককগুলিতে আপনি স্প্রিং-ভর ও ব্যাবর্তন দোলকের সরল দোলগতি সংক্রান্ত পরীক্ষা করতে শিখেছেন। এই এককে আপনি এমন একটি পরীক্ষা করতে শিখবেন যেটিতে একটি টান দেওয়া সুতার এক প্রান্তকে সরল 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 তরঙ্গের 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 মূলসূরের তীক্ষ্ণতা নির্ধারণ করে। এ জন্যই পরীক্ষাটি স্বনবিদ্যায় বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ।

উদ্দেশ্য

এই এককে বর্ণিত পরীক্ষার মাধ্যমে আপনি —

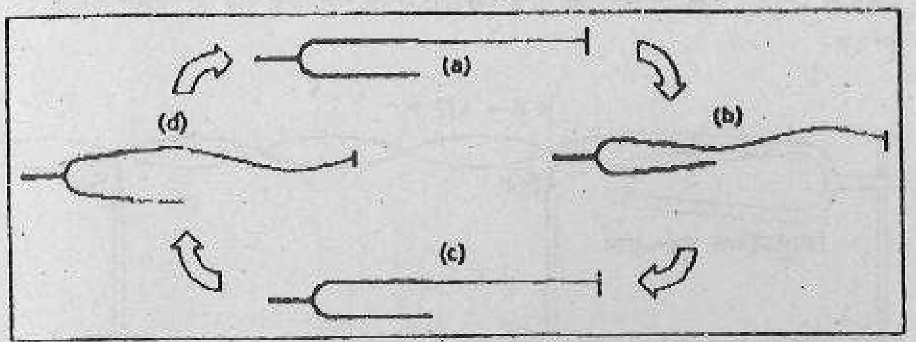
- টান দেওয়া সুতায় অনুপ্রস্থ স্থাণুতরঙ্গের উৎপাদন সরাসরি দেখাতে পারবেন;
- একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবেন;
- টান দেওয়া সুতায় বিভিন্ন সমমেলে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সূত্র এবং অনুপ্রস্থ তরঙ্গের বেগের সূত্র প্রতিপাদন করতে পারবেন।

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

4.2 টানা সুতায় স্থাণুতরঙ্গ

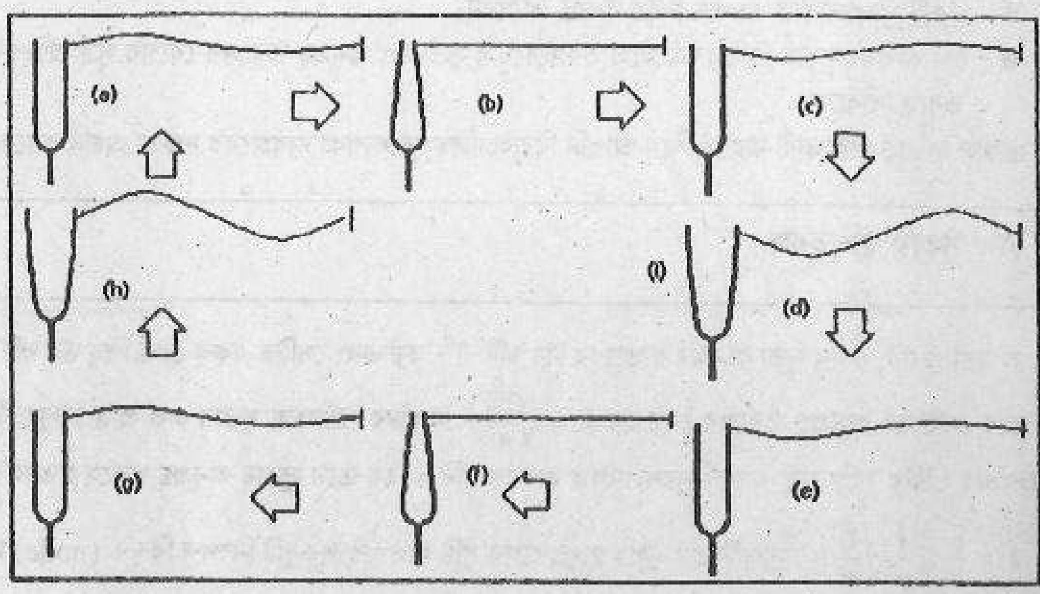
আমরা জানি, কোন সুতা বা নমনীয় তারের টান যদি T হয় এবং সেটির একক দৈর্ঘ্য পিছু ভর যদি m হয় তবে সেটিতে অনুপ্রস্থ তরঙ্গের বেগ হয় $v = \sqrt{\frac{T}{m}}$। মেলডির পরীক্ষায় সুতার এক প্রান্ত বিদ্যুৎচালিত সুরশলাকার ডাঁটির সঙ্গে যুক্ত থাকে। সুরশলাকার কম্পাঙ্ক যদি n হয় তবে সুতায় অনুপ্রস্থ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য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

$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{1}{2n}\sqrt{\frac{T}{m}} \qquad ......4.1$$



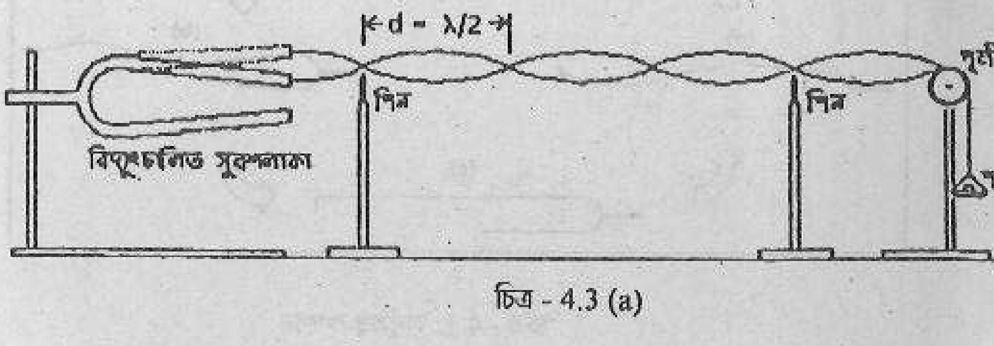
চিত্র - 4.1. অনুপ্রস্থ কম্পন

সুতাটিকে কম্পিত করার জন্য সুরশলাকারটিকে দুটি ভিন্ন অবস্থায় রাখা যায়। এর প্রথমটিতে (চিত্র 4.1, a-e) সুরশলাকার ডাঁটি সুতার দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমকোণে কম্পিত হয়। এখানে 4.1 (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 (চিত্র4.3)। 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 - 4.2 অনুদৈর্ঘ্য কম্পন

সুরশলাকার দ্বিতীয় অবস্থানে সেটির ডাঁটি সুতার দৈর্ঘ্যের সমান্তরালে কম্পিত হয়। চিত্র 4.2 (a-h) তে সুরশলাকার কম্পনের দুইটি পূর্ণ পর্যায় দেখানো হয়েছে। লক্ষ্য করুন যে এক্ষেত্রে সুতার দুই প্রান্তেই নিস্পন্দ বিন্দু থাকে এবং অনুনাদী অবস্থায় সুতাটিতে পূর্ণসংখ্যক খণ্ড থাকে। সুরশলাকার দুটি কম্পনের সময়ে তরঙ্গের একটি পর্যায়কাল পূর্ণ হয়।

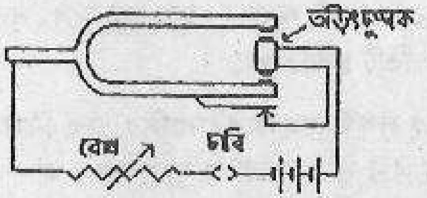


চিত্র - 4.3 (a)

4.1 সূত্রে সুতার টান (T) ইচ্ছামত কমবেশি করা যায়, একক দৈর্ঘ্যের ভর m এবং এক এক খণ্ডের দৈর্ঘ্য d সহজেই মাপা যায়। তখন আপনি 4.1 সূত্রটি দুভাবে ব্যবহার করতে পারেন। সুরশলাকার কম্পাঙ্ক n অজ্ঞাত থাকলে আপনি তার মান বার করতে পারেন। অথবা কম্পাঙ্কটি জানা থাকলে আপনি 4.1 সূত্রের সত্যতা প্রতিপাদন করতে পারেন। এখানে আম রা দুইভাবেই পরীক্ষাটির বিবরণ দেব।

4.3 সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়

প্রয়োজনীয় যন্ত্রসজ্জা ঃ 4.3 চিত্রে প্রয়োজনীয় যন্ত্রসজ্জাটি দেখানো হয়েছে। এখানে একটি বিদ্যুৎচালিত সুরশলাকার 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। 4.3 (a) চিত্রে সুরশলাকার তড়িৎবর্তনীটি দেখানো হয়েছে।



চিত্র - 4.3 (b) সুরশলাকার বর্তনী ব্যাটারী

সুরশলাকার একটি ডাঁটির সঙ্গে কয়েক মিটার দীর্ঘ মিটার পিছু 1gm এর কাছাকাছি ভরের একটিসুতার 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 ($\frac{1}{2}cm$ দাগের)।

4.3.1 পরীক্ষার পদ্ধতি

সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে নিচের ধাপগুলি 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 4.1 ও 4.2) লিপিবদ্ধ করুন এবং একক দৈর্ঘ্য পিছু সুতার ভর নির্ণয় করুন।

ii) এবারে 4.3 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 কম্পিভ করুন ! লক্ষ্য রাখুন, যাতে সুরশলাকা র 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 নিচেআনুন। 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 চাপানে ওজন সারণিতে (সারণি 4.2) 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 করুন এখন সুতার টান আগের চেয়ে বেশি হওয়ায় 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 4.1 সূত্রের সাহায্যে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যাবে, কেননা–

$$n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{2d}\sqrt{\frac{T}{m}} \qquad \text{..........4.2}$$

vi) এবার সুরশলাকাটিকে দ্বিতীয় অবস্থানে রেখে পরীক্ষাটি করে দেখুন। সুরশলাকাটিকে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে 4.2 চিত্রগুলিতে 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 (4.3) 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 —

$$n = \frac{2}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{d}\sqrt{\frac{T}{m}} \qquad ....4.3$$

এই পরীক্ষায় উপাত্তগুলি লেখার জন্য সারণিগুলি নিচে দেওয়া হল।

সারণি 4.1
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 $\frac{m_1}{\ell_1} = m(kgm^{-1})$
সুতা		......	.....	....	....
প্যান				....	....

সারণি 4.2
সুরশলাকার অনুপ্রস্থ কম্পনের পর্যবেক্ষণ

পর্যবেক্ষা 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)	$n = \frac{1}{2d}\sqrt{\frac{(M+M_o)g}{m}}$ (Hz)	গড় কম্পাঙ্ক (Hz)
(i)	....	....	....	....	....	......
(ii)	....	....	....	....	....	......
(iii)	....	....	....	....	....	......

সারণি 4.3
সুরশলাকার অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের পর্যবেক্ষণ

(এই সারণিটি 4.2 সারণির অনুরূপ হবে তবে ষষ্ঠ কলমে $n = \frac{1}{d}\sqrt{\frac{(M+M_o)g}{m}}$ (Hz) গণনা করে লিখতে হবে)

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

4.3.2 নির্ণীত মানের ত্রুটি

এই পরীক্ষাটিতে $M+M_o$, d এবং m এই রাশিগুলির পরিমাপ থেকে ত্রুটি ঘটতে পারে। প্যানের ভর M_o 0.1gm সূক্ষ্মতায় পরিমাপ করলেই তা যথেষ্ট হবে কেননা কয়েক কিলোগ্রাম ভরের বাটখারার ভরে এর চেয়ে অধিক ত্রুটি থাকতে পারে। মোটের উপর $(M+M_o)$ রাশিটির ত্রুটি 0.1% এর বেশি নয় এবং এটি উপেক্ষণীয়।

নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নির্ণয়ের 2mm ত্রুটি হতে পারে। দুই নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব নির্ণয় সর্বাধিক ত্রুটি 4mm ধরলে d রাশিটির আপেক্ষিক ত্রুটি $\frac{\Delta d}{d} = \Delta L / L = 4mm / 2m$ বা $\frac{\Delta d}{d} = 0.2\%$ হতে পারে। এখানে দুটি পিনের মধ্যে দূরত্ব L = 2m ধরা হয়েছে।

সুতার একক দৈর্ঘ্য পিছু ভর m এর আপেক্ষিক ত্রুটি $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta \ell_1}{\ell_1}$ । সুতার ভর 3gm, দৈর্ঘ্য 3m, ওজনের সূক্ষ্মতা 10mg এবং এর দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের সূক্ষ্মতা 5mm ধরা যেতে পারে। এখানে সুতার দৈর্ঘ্য পরিমাপের সময় সুতাটি টান করে রাখতে হবে কেননা পরীক্ষা চলাকালীন সুতার টান ও একক দৈর্ঘ্য পিছু ভর যা দাঁড়ায়, পরিমাপের সময়ও তাই থাকা প্রয়োজন। এখন $\frac{\Delta m}{m} = \frac{10mg}{3gm} + \frac{5mm}{3m} =$

$0{\cdot}33\% + 0{\cdot}17\% = 0{\cdot}5\%$

সুতরাং প্রতিটি নির্ণীত কম্পাঙ্কের মানে ত্রুটি 0.2+0.5 = 0.7% । কম্পাঙ্কটি অনেকবার নির্ণয় করে নির্ণীত মানগুলির গড় নিলে গড় মানের ত্রুটি হবে (0.7% ÷ যতগুলি মানের গড় নেওয়া হয়েছে তার বর্গমূল)।

অবশ্য এখানে ত্রুটির যে হিসাব করা হল তা অনেকটা আদর্শায়িত। বাস্তবে পুলির ঘর্ষণ, সুতার অসমতা ও টানের তারতম্যর ফলে দৈর্ঘ্যের হেরফের প্রভৃতি কারণে বাড়তি ত্রুটি ঘটে। মনে রাখতে হবে যে সুরশলাকার গায়ে যে কম্পাঙ্ক চিহ্নিত থাকে তা মুক্ত কম্পনের কম্পাঙ্ক। তড়িৎচালিত অবস্থায় শলাকার ডাঁটির সঙ্গে বাড়তি ভর যুক্ত থাকায় তার কম্পাঙ্ক পরিবর্তিত হয়।

4.4 টানা সুতায় তরঙ্গবেগের সূত্রের প্রতিপাদন

এর আগের অনুচ্ছেদে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়ের পরীক্ষা পদ্ধতিটি আপনি শিখে নিয়েছেন। 4.2 সারণিতে আপনি যে উপাত্তগুলি লিপিবদ্ধ করেছেন, সেগুলির সাহায্যে আপনি আরও একটি পরীক্ষা করতে পারেন। এটি হল টানা সুতায় তরঙ্গবেগের সূত্র $v = \sqrt{T/m}$ সূত্রের প্রতিপাদন।

সুরশলাকার অনুপ্রস্থ কম্পনের ক্ষেত্রে আমরা যে 4.2 সূত্রটি পেয়েছি সেটিকে আপনি লিখতে পারেনঃ $d^2 = kT$, যেখানে $k = \frac{1}{4n^2 m}$ । যদি একই সুতা ও সুরশলাকার ব্যবহার করা হয় তবে n ও m ধ্রুবক এবং

d^2 ও T সমানুপাতী। অনুরূপভাবে সুরশলাকার অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের ক্ষেত্রেও 4.3 সূত্র অনুযায়ী d^2 ও T সমানুপাতী যদিও এক্ষেত্রে সমানুপাত ধ্রুবকটি $k' = \frac{1}{n^2 m}$ । যে কোনও ধরনের কম্পনের ক্ষেত্রেই d^2-T লেখচিত্র অঙ্কন করলে সেটি যদি মূলবিন্দুর মধ্য দিয়ে সরলরেখা হয় তবে তরঙ্গবেগের সূত্রটি সত্য বলে প্রতিপন্ন হবে।

4.4.1 পরীক্ষা পদ্ধতি

এই পরীক্ষার পদ্ধতি ইতিমধ্যেই 4.3.1 অংশে বর্ণিত হয়েছে। সারণি 4.2 ও 4.3 এর উপাত্তগুলি ব্যবহার করে নিচের 4.4 সারণি পূর্ণ করুন।

সারণি 4.4

$T - d^2$ লেখ অঙ্কন

সুরশলাকার কম্পনের ধরন	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	$T = (M + M_o)g$ (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 তরঙ্গবেগের 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।

4.5 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 সুরশলাকাটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে পেরেছেন কেননা সুতার টান সুতায় ঝোলানো প্যান ও তার উপর রাখা বাটখারার ওজনের সমান। পরীক্ষাটিতে সুরশলাকাটিতে দুইভাবে 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 তরঙ্গবেগের 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 তরঙ্গবেগের সূত্রটির সত্যতা প্রতিপন্ন হয়।

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

4.6 প্রশ্নাবলী

(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 0.25kg দেওয়া আছে।

(ii) একটি সুরশলাকা অনুদৈর্ঘ্যভাবে কম্পিত হয়ে 2m দীর্ঘ 5gm 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 মধ্যে দূরত্ব না মেপে নিস্পন্দ বিন্দুগুলির মধ্যে দূরত্ব মাপা হয় কেন?

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

(c) 4.4.1 অংশ বর্ণিত পরীক্ষাপদ্ধতিতে আপনি দুটি সরলরেখা লেখ অঙ্কন করেছেন। এই রেখা দুটির নতির অনুপাত কত হওয়া উচিত?

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

(e) তরঙ্গবেগের সূত্রের প্রতিপাদনে আপনি T-d লেখচিত্র অঙ্কন না করে $T-d^2$ লেখচিত্র অঙ্কন করেছেন, যাতে লেখটি সরলরেখা হয়। এবার ধরুন x ও y দুটি ভৌত রাশির মধ্যে সম্পর্ক $y = Ax + \frac{B}{x}$, যেখানে A ও B দুটি অজ্ঞাত ধ্রুবক। যদি (x,y) এর কিছু সংখ্যক পরীক্ষালব্ধ মান দেওয়া থাকে তবে আপনি কীভাবে x ও y এর পরিবর্তে অন্য দুটি অপেক্ষক বেছে নেবেন যাতে লেখটি সরলরেখা হয়? A ও B ধ্রুবকদুটির মান আপনি কীভাবে নির্ণয় করবেন?

4.7 উত্তরমালা

(i) ধরুন, যখন দুটি সম্পূর্ণ লুপ দেখা যায় তখন লুপের দৈর্ঘ্য d এবং সুতার টান T। অনুরূপভাবে যখন

d^2 ও T সমানুপাতী। অনুরূপভাবে সুরশলাকার অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের ক্ষেত্রেও 4.3 সূত্র অনুযায়ী d^2 ও T সমানুপাতী যদিও এক্ষেত্রে সমানুপাত ধ্রুবকটি $k' = \frac{1}{n^2 m}$। যে কোনও ধরনের কম্পনের ক্ষেত্রেই d^2-T লেখচিত্র অঙ্কন করলে সেটি যদি মূলবিন্দুর মধ্য দিয়ে সরলরেখা হয় তবে তরঙ্গবেগের সূত্রটি সত্য বলে প্রতিপন্ন হবে।

4.4.1 পরীক্ষা পদ্ধতি

এই পরীক্ষার পদ্ধতি ইতিমধ্যেই 4.3.1 অংশে বর্ণিত হয়েছে। সারণি 4.2 ও 4.3 এর উপাত্তগুলি ব্যবহার করে নিচের 4.4 সারণি পূর্ণ করুন।

সারণি 4.4

$T - d^2$ লেখ অঙ্কন

সুরশলাকার কম্পনের ধরন	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	$T = (M + M_o)g$ (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 তরঙ্গবেগের 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।

4.5 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 সুরশলাকটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে পেরেছেন কেননা সুতার টান সুতায় ঝোলানো প্যান ও তার উপর রাখা বাটখারার ওজনের সমান। পরীক্ষাটিতে সুরশলাকাটিতে দুইভাবে 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 তরঙ্গবেগের 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 তরঙ্গবেগের সূত্রটির সত্যতা প্রতিপন্ন হয়।

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

4.6 প্রশ্নাবলী

(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 0.25kg দেওয়া আছে।

(ii) একটি সুরশলাকা অনুদৈর্ঘ্যভাবে কম্পিত হয়ে 2m দীর্ঘ 5gm 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 মধ্যে দূরত্ব না মেপে নিস্পন্দ বিন্দুগুলির মধ্যে দূরত্ব মাপা হয় কেন?

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

(c) 4.4.1 অংশ বর্ণিত পরীক্ষাপদ্ধতিতে আপনি দুটি সরলরেখা লেখ অঙ্কন করেছেন। এই রেখা দুটির নতির অনুপাত কত হওয়া উচিত?

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

(e) তরঙ্গবেগের সূত্রের প্রতিপাদনে আপনি T-d লেখচিত্র অঙ্কন না করে $T-d^2$ লেখচিত্র অঙ্কন করেছেন, যাতে লেখটি সরলরেখা হয়। এবার ধরুন x ও y দুটি ভৌত রাশির মধ্যে সম্পর্ক $y = Ax + \frac{B}{x}$, যেখানে A ও B দুটি অজ্ঞাত ধ্রুবক। যদি (x,y) এর কিছু সংখ্যক পরীক্ষালব্ধ মান দেওয়া থাকে তবে আপনি কীভাবে x ও y এর পরিবর্তে অন্য দুটি অপেক্ষক বেছে নেবেন যাতে লেখটি সরলরেখা হয়? A ও B ধ্রুবকদুটির মান আপনি কীভাবে নির্ণয় করবেন?

4.7 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 $2\frac{1}{2}\cdot d = 3\frac{1}{2}\cdot d'$ অর্থাৎ $\frac{d}{d'} = \frac{7}{5}$।

4.2 সূত্র থেকে, কম্পাঙ্ক যেখানে $= \frac{1}{2d}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{2d'}\sqrt{\frac{T'}{m}}$, অর্থাৎ $\frac{d}{d'} = \sqrt{\frac{T}{T'}} = \sqrt{\frac{(2\cdot 2+0\cdot 25)g}{(M+0\cdot 3)g}}$ সেখানে M নির্ণেয় ভর।

$$\therefore \frac{2\cdot 45}{M+3} = \left(\frac{d}{d'}\right)^2 = \frac{49}{25};$$ সমাধান করে M = 0.95kg

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। 4.3 সূত্রে $n = 80Hz$, d = 2m, $m = \cdot 005/2 = \cdot 0025 kgm^{-1}$ লিখে পাবেন

$T = n^2 d^2 m = 80^2 \times 2^2 \times .0025 = 64$ N বা প্রায় 6.5kg 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) 4.4 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।

(e) $y = Ax + \frac{B}{x}$ থেকে পাওয়া যায় $xy = Ax^2 + B$। আপনি যদি লেখচিত্রের অনুভূমিক অক্ষে x^2 এবং উলম্ব অক্ষে xy রাশি ধরে লেখ অঙ্কন করেন তবে আপনি একটি সরলরেখা পাবেন। এই সরলরেখা উলম্ব অক্ষকে xy = B বিন্দুতে ছেদ করবে এবং এটির নতি হবে A। সুতরাং সরলরেখাটির দ্বারা xy অক্ষে ছেদিত অংশ ও সরলরেখার নতি থেকেই A ও B ধ্রুবক দুটির মান পাবেন।

একক 5 □ কৈশিক নলে জলের প্রবাহ ও জলের সান্দ্রতা

গঠন

5.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

5.2 কৈশিক নলে সান্দ্র তরলের প্রবাহ

5.2.1 জলের সান্দ্রতা নির্ণয়

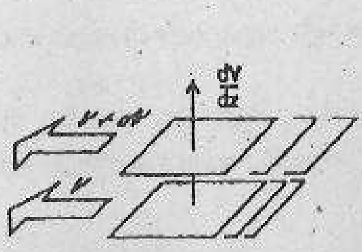
5.3 সারাংশ

5.4 প্রশ্নাবলী

5.5 উত্তরমালা

5.1 প্রস্তাবনা

PHE O2 পাঠক্রমের ত্রয়োদশ এককে 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 5.1

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 প্রান্ত চাপের প্রভেদ জলের প্রবাহের হারকে কীভাবে প্রভাবিত করে তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন। এ ছাড়াও আপনি কতকগুলি পরীক্ষাগত দক্ষতা অর্জন করবেন, যেগুলি হল ঃ

- স্থিরতল জলাধারের (constant level tank) সাহায্যে সমান চাপে কৈশিক 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।

5.2 কৈশিক নলে সান্দ্র তরলের প্রবাহ

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

$$Q = \frac{\pi p a^4}{8\ell\eta} \qquad (5.1)$$

যেখানে P = কৈশিক নলের দুইপ্রান্তের মধ্যে চাপের প্রভেদ, a,l = কৈশিক নলের যথাক্রমে প্রস্থচ্ছেদে ব্যাসার্ধ ও 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 5.1 সূত্র থেকে পাওয়া যায় $Q = \frac{\pi a^4 h\rho g}{8l\eta}$ বা

$$\eta = \frac{\pi a^4 h\rho g}{8lQ} \qquad \text{.........5.2}$$

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

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

$$Q = \frac{\pi a^4 \rho g}{8\eta\ell}\left(h - \frac{kQ^2}{\pi^2 a^4 g}\right) \text{ বা } \quad \frac{h}{Q} = \frac{8\eta l}{\pi a^4 \rho g} + \frac{k}{\pi^2 a^4 g}Q \qquad \text{.........5.3}$$

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

5.2 সমীকরণ থেকে এটি স্পষ্ট যে গতিশক্তির জন্য শুদ্ধিটি 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 5.2 সূত্র ব্যবহার করে আপনি সান্দ্রতা η এর মান নির্ণয় করতে পারবেন যদি কৈশিক নলের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদ ব্যাসার্ধ আপনার জানা থাকে।

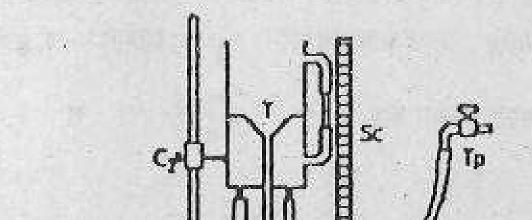
তবে, 5.3 সূত্র থেকে বোঝা যায় যে প্রবাহের হার Q বেশি হলে h-Q এর সম্পর্কটি আর সরলরৈখিক থাকে না। এরফলে h-Q লেখটি Q এর অধিক মানে সরলরেখা থেকে বিচ্যুত হতে পারে। সেক্ষেত্রে লেখটির যে অংশ সরলরেখা, তার উপরের কোন বিন্দু থেকেই h ও Q এর মান গ্রহণ করে সান্দ্রতার মান গণনা করতে হবে।

5.2.1 জলের সান্দ্রতা নির্ণয়

এই পরীক্ষাটিতে আমরা 5.2 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 ঃ



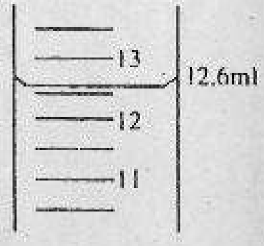
চিত্র 5.2

এবার পরীক্ষার নিম্নোক্ত ধাপগুলি অনুসরণ করুন। (i) কৈশিক নলটি প্রথমে সাবানজল ও পরে পরিষ্কার জল দিয়ে ধুয়ে নিন।(ii) কৈশিক নল (Tb) ও স্থিরতল জলাধারটি (T) 5.2 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 পারে। কৈশিক নলটি 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 জলাধারে জলতল কৈশিক নলের উন্মুক্ত প্রান্ত থেকে 5cm এর মত 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 estimation) পাঠ নিতে পারেন (চিত্র 5.3)। পাঠ নেওয়ার সময় অবতল জলতলের সর্বনিম্ন বিন্দুর পাঠ নিতে হয়। সংগৃহীত জলের আয়তন এবং স্টপওয়াচে দেখানো সময় সারণিতে (সারণি 5.1) লিপিবদ্ধ করুন।

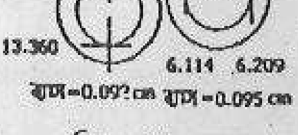
কৈশিক নলে জলপ্রবাহ সৃষ্টির জন্য একটি বিকল্প যন্ত্রব্যবস্থাও ব্যবহৃত হয়। এই ব্যবস্থাটি 5.6 চিত্রে দেখানো হয়েছে।এখানে একটি স্কেলের (Sc) পাশে দাঁড় করানো দুটি উলম্ব কাচনলে জলস্তম্ভগুলি কৈশিক নলের (Tb) প্রবেশ ও নির্গম বিন্দু দুটিতে জলের চাপ নির্দেশ করে। ফলে এই দুই জলস্তম্ভের উচ্চতার প্রভেদই (h) চাপের পার্থক্যের নির্দেশক। এখানে স্থিরতল আধারের উচ্চতা বাড়িয়ে কমিয়ে এবং নির্গম নলে লাগানো একটি পিনচ্ কক্ খুলে বা আঁট করে জলের প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করা যায়।



চিত্র 5.3

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

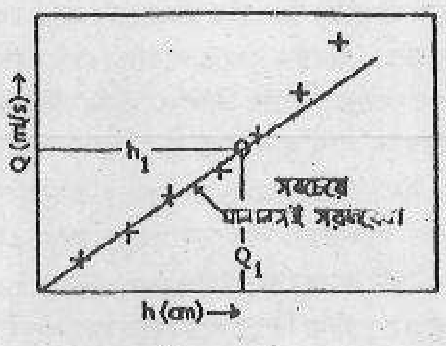
(v) এবার কৈশিক নলটি রবারের নল ও ক্ল্যাম্প থেকে খুলে নিন। কৈশিক নলটিকে মিটার স্কেলের পাশে রেখে সেটির বাম ও ডান প্রান্তের পাঠ নিন এবং উভয় পাঠের প্রভেদ থেকে কৈশিক নলের দৈর্ঘ্য ℓ নির্ণয় করুন।



চিত্র 5.4

(vi) ট্রাভেলিং মাইক্রোস্কোপের আনুভূমিক ও উলম্ব স্কেলের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করুন। 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 দুই অবস্থায় উলম্ব স্কেলের পাঠ নিন। একইভাবে উলম্ব ক্রসতারটিকে কৈশিক নলের বাম ও ডানপাশের সঙ্গে মিলিয়ে অনুভূমিক স্কেলের পাঠ নিন।

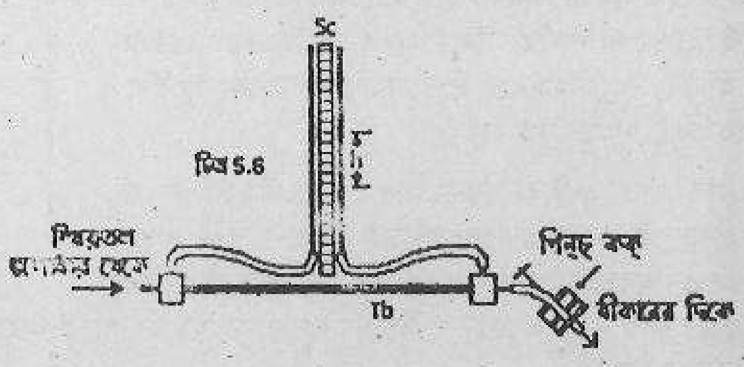
ক্রস-তারটিকে কীভাবে রাখতে হবে তা 5.4 চিত্রে দেখানো হয়েছে। উলম্ব স্কেলের পাঠ দুটির পার্থক্য থেকে অনুভূমিক ব্যাস জানা যাবে। দুটির গড় নিয়ে ও অর্ধেক করে গড় ব্যাসার্ধ নির্ণয় করুন। এবার কৈশিক নলটি ক্ল্যাম্প থেকে খুলে উলটিয়ে ক্ল্যাম্পে আবদ্ধ করুন এবং আগের পদ্ধতিতে কৈশিক নলের অপর প্রান্তে ভিতরের দেওয়ালের 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 5.2)।



চিত্র 5.5

(vii) সারণি 5.1 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 5.5)। যদি না থাকে তবে বুঝতে হবে 5.3 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।

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



চিত্র 5.6

(ix) এখন আপনি

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

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

সারণি 5.1

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 5.2

কৈশিক নলের ব্যাসার্ধের পরিমাপ

প্রান্ত 1						প্রান্ত 2					
উলম্ব ব্যাস (cm)			অনুভূমিক ব্যাস (cm)			উলম্ব 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 $cm = 4.7\times10^{-4} m$

কৈশিক নলের দৈর্ঘ্য : বামপ্রান্তের পাঠ = 13.4, ডান প্রান্তের পাঠ 74.6. দৈর্ঘ্য (L) = 61.2 cm = 0.612m

লেখচিত্র থেকে $h_1 = 20cm = 0\cdot20m$, $Q_1 = \cdot061\ m\ell S^{-1} = 6\cdot1\times10^{-8} m^3 S^{-1}$

নির্ণেয় সান্দ্রতা ঃ

$$\eta = \frac{\pi}{8}\times10^3\ kgm^{-3}\times9\cdot8ms^{-2}\times\frac{(4\cdot7\times10^{-4})^4}{0\cdot612}\times\frac{0\cdot20}{6\cdot1\times10^{-8}}$$

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

জলের উষ্ণতা (i)..............$^\circ C$ ii) .... $^\circ C$ iii) .... $^\circ C$

সান্দ্রতার নির্ণীত মানে ত্রুটি ঃ

সান্দ্রতার যে মান আপনি নির্ণয় করলেন তার মধ্যে প্রধানত দুটি উৎস থেকে ত্রুটি আসতে পারে। এগুলি হল কৈশিক নলের ব্যাসার্ধ পরিমাপের ত্রুটি এবং $\frac{h}{Q}$ এর মান নির্ণয়ে ত্রুটি। কৈশিক নলের দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের ত্রুটি

0.5 শতাংশের কম, সুতরাং সেটি আপনি উপেক্ষা করতে পারেন।

কৈশিক নলের ব্যাসটি সর্বত্র সমান বলে আমরা ধরে নিয়েছি। ট্রাভেলিং মইক্রোস্কোপের ভার্নিয়ার ধ্রুবক .01mm হলেও ক্রস তারটি ঠিক জায়গায় বসানো এবং ভার্নিয়ার স্কেল পাঠের মধ্যে দুই ভার্নিয়ার দাগ অর্থাৎ .02mm ত্রুটি প্রতিটি পাঠে আসতে পারে। সুতরাং দুটি পাঠের অন্তরে ত্রুটি $.02mm \times \sqrt{2}$ । মোট চারটি রাশির গড় নেওয়ার ফলে গড় ব্যাসের মানের ত্রুটি $\frac{.02mm \times \sqrt{2}}{\sqrt{4}} \approx .015mm$ সুতরাং এক্ষেত্রে ব্যাস অথবা ব্যাসার্ধের পরিমাপে আনুপাতিক ত্রুটি $\frac{.015mm}{.094cm}$ বা 1.6 শতাংশ।

লেখচিত্র থেকে নির্ণীত $\frac{h}{Q}$ রাশির ত্রুটি নির্ণয় করতে হলে আপনাকে লেখচিত্রে মূলবিন্দুর মধ্য দিয়ে সর্বাধিক ও সর্বনিম্ন নতির সরলরেখা দুটি আঁকতে হবে। এই দুটি সরলরেখার জন্যও আগের মত (vii অংশে দেখুন) h / Qএর মান নির্ণয় করুন। এই দুই মানের প্রভেদ, ধরুন $\Delta(h/Q)$ । এবার h/Q রাশির আনুপাতিক ত্রুটি $\frac{1}{2}\Delta(h/Q)/(h_1/Q_1)$। এই ত্রুটির মান জলের বিশুদ্ধতা ও উষ্ণতার পরিবর্তন, কৈশিক নল ও রবার নলগুলির পরিচ্ছন্নতা এবং সর্বোপরি আপনার পরীক্ষণ-দক্ষতার উপর নির্ভর করবে।

সান্দ্রতার রাশিমালায় যে a^4 রাশিটি রয়েছে তার আনুপাতিক ত্রুটি $\Delta(a^4)/a^4 = 4\Delta a/a = 4 \times 1.6 = 6.4$ শতাংশ। এর সঙ্গে h/Q রাশির আনুপাতিক ত্রুটি যোগ দিলে আপনি সান্দ্রতার নির্ণীত মানের মোট আনুপাতিক ত্রুটি পাবেন।

5.3 সারাংশ

এই এককে আপনি পোয়াসোঁই 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 গণনায় ব্যবহার করা হয়েছে। এর ফলে নির্ণীত জলের গতিশক্তিজনিত ত্রুটি এবং অশান্ত প্রবাহের প্রভাব এড়ানো সম্ভব হয়েছে।

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

5.4 প্রশ্নাবলী

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

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

(iii) 5.2 চিত্রে দেখানো পরীক্ষার ব্যবস্থায় স্থিরতল জলাধার ও কৈশিক নলের সংযোগকারী রবারের নলটি কৈশিক নলের তুলনায় বড় ব্যাসের হওয়া প্রয়োজন কেন?

(iv) ধরুন কৈশিক নলটির দৈর্ঘ্য $\ell = 1m$ এবং ব্যাসার্ধ $a = 0.5mm$ । আপনি যদি দৈর্ঘ্য মাপতে 2mm এবং ব্যাসার্ধ মাপতে .01mm ভুল করেন, তবে $\frac{a^4}{\ell}$ রাশির আনুপাতিক ত্রুটি সর্বাধিক কত শতাংশ হতে পারে?

5.5 উত্তরমালা

(i) ধরুন কৈশিক নলের $\ell_1, \ell_2, \ell_3 ......$ 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 $P = P_1 + P_2 + P_3 + ...$

$$= \frac{8\eta Q}{\pi}\left(\frac{\ell_1}{a_1^4} + \frac{\ell^2}{a_2^4} + \frac{\ell_3}{a_3^4} + ...\right) \qquad = \frac{8\eta Q}{\pi} \cdot \frac{\ell}{a^4}, \text{ ধরুন,}$$

যেখানে $a^{-4} = \frac{\ell_1}{\ell} a_1^{-4} + \frac{\ell_2}{\ell} a_2^{-4} + \frac{\ell_3}{\ell} a_3^{-4} + ...$

অর্থাৎ এখানে $a^{-4} = a_1^{-4}, a_2^{-4}, ...$ ইত্যাদির ভারিত গড় (weighted average)। কৈশিক নলটি সুষম না হলে প্রস্থচ্ছেদের কার্যকরী ব্যাসার্ধ a বার করা সম্ভব নয়, কাজেই অসম প্রস্থচ্ছেদের 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 জনই 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 বড় হওয়া দরকার।

(iv) ধরুন $y = a^4/\ell$ $\therefore \log_e y = 4\log_e a - \log_e \ell$

অবকলন দ্বারা $\frac{\Delta y}{y} = 4\ \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta \ell}{\ell}$ (এখানে $\frac{\Delta \ell}{\ell}$ এর আগে যোগ চিহ্নও ব্যবহার করা হয়েছে কেননা Δa ও $\Delta \ell$ ত্রুটিগুলি পরস্পরের বিরোধিতা না করে মোট ত্রুটিকে বর্ধিত করতে পারে।)

এক্ষেত্রে $\frac{\Delta a}{a} = \frac{\cdot 01}{\cdot 50}, \quad \frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{\cdot 002}{1}$

$$\therefore \frac{\Delta y}{y} = 4 \times \frac{\cdot 01}{\cdot 50} + \frac{\cdot 002}{1} = \cdot 08 + \cdot 002 = 8\cdot 2\%$$

একক 6 ☐ ইয়েগার পদ্ধতিতে তরলের পৃষ্ঠটানের পরিমাপ

গঠন ঃ

6.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

6.2 পরীক্ষার মূলতত্ত্ব

6.3 পরীক্ষার যন্ত্রসজ্জা ও পদ্ধতি

6.3.1 যন্ত্রসজ্জা

6.3.2 পরীক্ষা পদ্ধতি

6.3.3 পরীক্ষালব্ধ ফল—উপাত্ত সারণী

6.3.4 পরীক্ষালব্ধ ফলের ত্রুটি আলোচনা

6.4 সারাংশ

6.5 প্রশ্নাবলী

6.6 উত্তরমালা

6.1 প্রস্তাবনা ঃ

EPH2 পাঠক্রমের দ্বাদশ এককে আপনি তরলের পৃষ্ঠটানের সঙ্গে পরিচিত হয়েছেন। আপনি জেনেছেন যে আন্তরাণবিক আকর্ষণের ফলে তরল পৃষ্ঠ সর্বদাই সঙ্কুচিত হতে চায়—এই সংকোচন প্রবণতা থেকেই তরলের পৃষ্ঠটান জন্মায়।

উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে তরলের পৃষ্ঠটান কমে যায়। ইয়েগার পদ্ধতিতে উষ্ণতার সঙ্গে কোন তরলের পৃষ্ঠটানের পরিবর্তন মাপা সম্ভব। এই পদ্ধতিতে বিভিন্ন উষ্ণতায় কোন তরলের পৃষ্ঠটানের আপেক্ষিক বা তুলনামূলক মান নির্ণয় করা যায়। কাজেই এর দ্বারা পৃষ্ঠটান মাপতে হলে কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরলের পৃষ্ঠটান জানা প্রয়োজন অর্থাৎ এই পদ্ধতি পৃষ্ঠটান মাপার চরম পদ্ধতি নয়,এটি পৃষ্ঠটানের তুলনামূলক মান নির্ণয়ের একটি আপেক্ষিক পদ্ধতি মাত্র। এই পদ্ধতিতে কোন বুদবুদের ভিতর ও বাহিরের চাপের সবচেয়ে বেশি তারতম্য মেপে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরলের পৃষ্ঠটান মাপা হয়। এই এককে আপনি ইয়েগারের পদ্ধতিতে জলের পৃষ্ঠটান নির্ণয় করতে শিখবেন। বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের পৃষ্ঠটান নির্ণয় করলে আপনি লক্ষ্য করবেন যে জলের উষ্ণতা যতই তার স্ফুটনাংকের নিকটবর্তী হয়, ততই পৃষ্ঠটান কমে শূন্যের দিকে যেতে থাকে।

উদ্দেশ্য

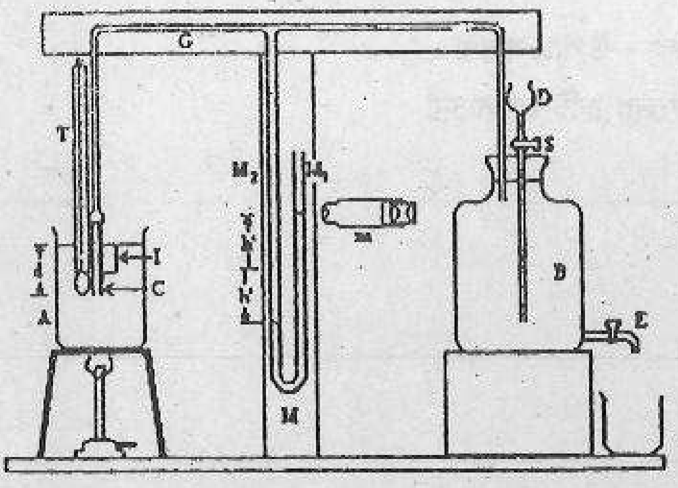
এই পরীক্ষার মাধ্যমে আপনি যে কাজগুলি করতে সক্ষম হবেন সেগুলি হল ঃ

● জল বা অন্য কোন তরলের পৃষ্ঠটান বিভিন্ন উষ্ণতায় সূক্ষ্মভাবে মেপে উষ্ণতার সঙ্গে পৃষ্ঠটানের তুলনামূলক পরিবর্তন দেখাতে পারবেন এবং লেখচিত্রের সাহায্যে এই পরিবর্তনের প্রকৃতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

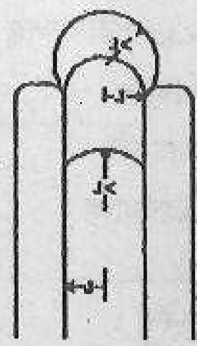
● এই পরীক্ষা থেকে আপনি কয়েকটি যন্ত্র ব্যবহারের দক্ষতা অর্জন করবেন। ট্রাভেলিং মাইক্রোসকোপের সাহায্যে কোন ক্ষুদ্র নলের ব্যাসার্ধ (প্রায় 1mm এর মত) মাপতে পারবেন। এই যন্ত্রের ব্যবহারের অভ্যাস ভবিষ্যতে আপনার অনেক কাজে লাগবে।

● কোন পদার্থকে স্থির উষ্ণতায় রেখে তার কোন ভৌতধর্ম মাপার পদ্ধতিটি আপনি আয়ত্ত করতে পারবেন।

6.2 পরীক্ষার মূলতত্ত্ব



চিত্র 6.1



চিত্র 6.2

আপনি হয়ত পড়েছেন যে তরলের পৃষ্ঠ একটি টান দেওয়া স্থিতিস্থাপক পর্দার মত আচরণ করে। আমরা যদি তরলের পৃষ্ঠে একটি রেখা কল্পনা করি, তবে ঐ কল্পিত রেখার প্রতি একক দৈর্ঘ্যে রেখার সঙ্গে লম্বভাবে তরলপৃষ্ঠের স্পর্শক বরাবর যে বল ক্রিয়া করে তাকেই তরলের পৃষ্ঠটান বলি।

ইয়েগারের পরীক্ষার যন্ত্রসজ্জা 6.1 চিত্রে দেখানো হয়েছে। এখানে জলপূর্ণ বিকারের মধ্যে যে কৈশিক নলটি উলম্বভাবে ডোবানো রয়েছে তার মধ্যে বায়ুচাপ অত্যন্ত ধীরে বাড়ানোর ব্যবস্থা আছে। এর ফলে কৈশিক নলের মুখ দিয়ে 10-20 সেকেন্ড অন্তর একটি করে বুদবুদ নির্গত হয়। বুদবুদ সৃষ্টির বিভিন্ন পর্যায়গুলি 6.2 চিত্রে দেখানো হয়েছে। লক্ষ্য করুন যে, কৈশিক নলের মধ্যেকার বায়ু ও জলের মধ্যে যে বক্রতলটি রয়েছে তার ন্যূনতম ব্যাসার্ধ নলের ব্যাসার্ধ r এর সমান। সুতরাং বুদবুদের ভিতরের ও বাইরের চাপের মধ্যে সর্বাধিক পার্থক্য

$$P = \frac{2S}{r} \qquad \text{.......6.1}$$

যেখানে S = পরীক্ষাকালীন উষ্ণতার জলের পৃষ্ঠটান

r = বুদবুদের ব্যাসার্ধ ≈ কৈশিক নলের ডোবানো মুখের আভ্যন্তরীণ ব্যাসার্ধ।

বুদবুদের ভিতরের চাপ ও বায়ুমন্ডলের চাপের প্রভেদ মাপার জন্য একটি U - টিউব ম্যানোমিটারের ব্যবহার করা হয়। ম্যানোমিটারের দুই নলের মধ্যে তরল তলের উচ্চতার চরম পার্থক্য যদি h হয় তবে বুদবুদের ভিতরের সর্বোচ্চ চাপ $= P + h\rho g$ যেখানে P = বায়ুমন্ডলের চাপ, ρ = ম্যানোমিটারে ব্যবহৃত তরলের ঘনত্ব, g = অভিকর্ষজ ত্বরণ।

কৈশিক নলের খোলা মুখটি যদি পরীক্ষাধীন তরলের মধ্যে d গভীরতায় ডোবানো থাকে এবং ঐ তরলের ঘনত্ব যদি σ হয় তবে বুদবুদের ঠিক বাইরে জলের চাপ $= P + d\sigma g$

সুতরাং বুদবুদের ভিতরের ও বাইরের চাপের মধ্যে সর্বাধিক পার্থক্য

$$(P + h\rho g) - (P + d\sigma g) = (h\rho - d\sigma)g \qquad ....6.2$$

6.1 ও 6.2 সমীকরণ দুটিকে একত্রে করে পাওয়া যায়

$$\frac{2S}{r} = (h\rho - d\sigma)g$$

বা $S = \frac{rg}{2}(h\rho - d\sigma)$ 6.3

6.3 সূত্রের প্রতিষ্ঠায় আমরা ধরে নিয়েছি যে কৈশিক নল থেকে বিচ্ছিন্ন হওয়ার সময় বুদবুদের ব্যাসার্ধ সর্বনিম্ন এবং নলের ডোবানো মুখের অভ্যন্তরীণ ব্যাসার্ধের সমান। এই অঙ্গীকারের কোন তাত্ত্বিক বা পরীক্ষালব্ধ প্রমাণ নেই এবং এটি সম্পূর্ণ সত্য না ও হতে পারে। আমরা ধরে নিতে পারি যে নল থেকে বিচ্ছিন্ন হওয়ার সময় বুদবুদের ব্যাসার্ধ R যা r এর একটি নির্দিষ্ট আপেক্ষক f (r) । সেক্ষেত্রে 6.3 সমীকরণটি হবে

$$S = \frac{f(r)\cdot g}{2}(h\rho - d\sigma) \qquad ....6.4$$

যদি কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় T_o পৃষ্ঠটান $S_o, \sigma = \sigma_o$ হয় এবং পরীক্ষায় $h = h_o$ পাওয়া যায় তবে

$$f(r) = 2S_o / g(h_o\rho - d\sigma_o) \qquad ....6.5$$

6.3 পরীক্ষার যন্ত্রসজ্জা ও পদ্ধতি

তরলের পৃষ্ঠটান নির্ণয়ের ইয়েগার পদ্ধতির মূলতত্ত্বটি বুঝলেন। এবার আমরা পরীক্ষার যন্ত্রসজ্জা ও পদ্ধতি নিয়ে আলোচনা করব।

এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত যন্ত্রপাতি খুবই সরল। কিন্তু কাচনল, বীকার প্রভৃতি সামগ্রীর পরিচ্ছন্নতা এখানে খুবই প্রয়োজনীয়। যন্ত্রব্যবস্থাটি যাতে আপনি দক্ষতার সঙ্গে ব্যবহার করতে পারেন তার জন্য প্রতিটি অংশের ক্রিয়া আপনাকে আগেই বুঝে নিতে হবে।

6.3.1 যন্ত্রসজ্জা

পরীক্ষার যন্ত্রসজ্জাটি 6.1 চিত্রে দেখানো হয়েছে। এর অংশগুলি হল ঃ

A : পরীক্ষাধীন তরলে অর্থাৎ পরিষ্কার জলে প্রায় পূর্ণ বড় বীকার (1 লিটার মাপের)। বীকারটি একটি তিনপায়া স্ট্যান্ডের উপর রাখা তারজালির উপর বসানো থাকে এবং বুনসেন বার্নার বা ছোট কেরোসিন স্টোভের সাহায্যে সেটিকে নিয়ন্ত্রিতভাবে গরম করা যায়।

C : পুরু দেওয়ালের কৈশিক নল, যার একমুখ জলে ডোবানো এবং অন্য দিকটি G কাচনলের সঙ্গে যুক্ত। কৈশিক নলের খোলামুখের ভিতরের ব্যাস 0.50-1.00 mm হলে পরীক্ষাটি করতে সুবিধা হয়। কৈশিক নলটির গায়ে একটি U- আকৃতির ইনডেক্স কাঁটা আটকানো থাকে, যার সাহায্যে বীকারের জলতল নির্দিষ্ট উচ্চতায় স্থির রাখা যায়।

T : এটি $\frac{1}{2}$ $^\circ C$ দাগের $0^\circ - 100^\circ$ পাল্লার পারদ থার্মোমিটার। এর কুণ্ডটি কৈশিক নলের খোলা মুখের পাশে থাকে।

M : কাচনল G এর সঙ্গে U নল ম্যানোমিটার বা চাপমান যন্ত্র। চাপমাপক তরল হিসাবে এটির মধ্যে জল ব্যবহার করা হয়। ম্যানোমিটারে জলতলের উচ্চতা নির্ণয়ের জন্য একটি চলমান (travelling) মাইক্রোস্কোপ m ব্যবহার করা হয়।

B : এটি অন্তত 2 লিটার আয়তনের বড় ব্যাসের মুখবিশিষ্ট একটি বোতল। G কাচনলের এক প্রান্ত এবং D ফানেলের সঙ্গে যুক্ত অন্য একটি কাচনল এই বোতলের ছিপির মধ্য দিয়ে বায়ুনিরোধকভাবে ঢোকানো থাকে। D ফানেলের তলায় একটি স্টপকক্ S থাকে আর একটি স্টপকক লাগানো পার্শ্বনল E এর সাহায্যে বোতল থেকে জল বার করার ব্যবস্থা রাখা হয়। মোটামুটিভাবে এগুলিই হল প্রয়োজনীয় যন্ত্রাংশ। এছাড়া A বীকারে জলতল উপযোজনের জন্য একটি ড্রপার এবং E নল থেকে নির্গত জল ধরার জন্য একটি পাত্রও আপনার দরকার হবে।

6.3.2 পরীক্ষা পদ্ধতি

প্রথমেই আপনাকে যন্ত্রাংশগুলি 6.1 চিত্র অনুযায়ী সাজিয়ে নিতে হবে। সেগুলি পরীক্ষাগারে মোটামুটি সাজানো থাকলেও আপনি নিচের ধাপগুলি অনুসরণ করুন।

(i) ইনডেক্স কাঁটাটির অবস্থান এমন রাখুন যাতে এটির অগ্রভাগ কৈশিক নলের খোলা মুখের চেয়ে 4-5cm উচ্চতায় (d) থাকে। অবশ্য এজন্য বীকারটি যথেষ্ট গভীর এবং ম্যানোমিটারের বাহুগুলি যথেষ্ট দীর্ঘ হতে হবে।

(ii) স্পিরিট লেভেলের সাহায্যে চলমান মাইক্রোস্কোপের মঞ্চটিকে অনুভূমিক করুন এবং মাইক্রোস্কোপটিকে অনুভূমিক অবস্থায় রাখুন। মাইক্রোস্কোপের অভিনেত্রটিকে আগুপিছু করে সেটিকে ক্রস তারের উপর ফোকাস করুন। এই অবস্থায় আপনি যেন দূরের কোন বস্তু দেখছেন, এমন শিথিল (relaxed) চোখে অভিনেত্রের মধ্যে দিয়ে দেখলে ক্রসতারটিকে সবচেয়ে স্পষ্ট দেখতে পাবেন।

(iii) কৈশিক নলটি খুলে নিন এবং ক্ল্যাম্পের সাহায্যে সেটিকে অনুভূমিকভাবে মাইক্রোস্কোপের সামনে রাখুন যাতে বীকারে ডোবানোর মুখটি অভিলক্ষ্যের (objective) এর সোজাসুজি সামনে থাকে।

মাইক্রোস্কোপের নলটি এগিয়ে বা পিছিয়ে কৈশিক নলের মুখটি ফোকাসে আনুন। এই অবস্থায় ক্রসতার

এবং কৈশিক নলের মুখটিকে একসঙ্গে স্পষ্টভাবে দেখা যাবে। মাইক্রোস্কোপের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করুন এবং এ সংক্রান্ত তথ্যাদি 6.1 নং সারণিতে লিখুন।

(iv) এবার মাইক্রোস্কোপের ক্রসতারের উলম্ব তারটিকে কৈশিক নলের ভিতরের ছিদ্রের গোলাকার মুখের বামপ্রান্তে ও ডানপ্রান্তে স্পার্শকভাবে (tangentially) রাখুন এবং এই দুই অবস্থায় মাইক্রোস্কোপের অনুভূমিক স্কেলের পাঠ নিন। দুই পাঠের প্রভেদ থেকে আপনি কৈশিক নলের মুখের অনুভূমিক ব্যাস পাবেন। অনুরূপভাবে ক্রসতারের অনুভূমিক তারটিকে কৈশিক নলের মুখের উপরের ও নিচের প্রান্তে স্পর্শকভাবে রাখুন এবং দুই অবস্থায় মাইক্রোস্কোপের উলম্ব স্কেলের পাঠ নিন। এই দুই পাঠের পার্থক্য নলের মুখের উলম্ব ব্যাস। স্কেলের পাঠগুলি 6.2 সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন এবং কৈশিক নলের যে মুখটিতে বুদবুদ উৎপাদন করা হবে তার ব্যাসার্ধ নির্ণয় করুন। এখানে আপনাকে লক্ষ্য রাখতে হবে যে কৈশিক নলের অনুভূমিক ও উলম্ব ব্যাসের মধ্যে প্রভেদ যেন 5% এর চেয়ে বেশি না হয়।

(v) এবার কৈশিক নলটিকে ইনডেকস কাঁটা সমেত 6.1 চিত্রের মত উলম্বভাবে রাখুন। থার্মোমিটারটিকে কৈশিক নলের সঙ্গে এমনভাবে বেঁধে রাখুন যেন তার কুণ্ডটি নলের খোলা মুখের পাশে থাকে। চলমান মাইক্রোস্কোপটির অনুভূমিক ক্রসতারে একবার কৈশিক নলের খোলামুখের প্রান্ত এবং অর একবার ইনডেকস কাঁটার সূচিমুখটিকে এনে দুই অবস্থায় উলম্ব স্কেলের পাঠ নিন। পাঠগুলি 6.3 সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন। এই দুই পাঠের প্রভেদ থেকে 'd' এর মান পাওয়া যাবে। এই পাঠগুলি আপনি পরীক্ষার শেষেও একবার নেবেন এবং পরীক্ষা চলাকালীন 'd' এর মান যে পরিবর্তন হয়নি সে সম্বন্ধে নিশ্চিত হবেন। 'd' এর দুই মানে অল্প প্রভেদ থাকলে গড় মান নির্ণয় করুন।

(vi) চলমান মইক্রোস্কোপটিকে এবার ম্যানোমিটারের খোলা নল M_1 এর সামনে রাখুন, যাতে নলের ভিতরের জলতল মাইক্রোস্কোপে ফোকাসিত অবস্থায় দেখা যায়। কৈশিক নলটি যখন যখন বীকারের জলে ডোবানো হয়নি তখন ম্যানোমিটারের দুই নলে জলতল সমান উচ্চতায় থাকবে। এই অবস্থায় মাইক্রোস্কোপের অনুভূমিক ক্রসতারটি M_1 নলের বক্র জলতলের সঙ্গে স্পার্শক অবস্থায় রাখুন এবং মাইক্রোস্কোপের উলম্ব স্কেলের পাঠ নিন। পাঠটি (R_o) 6.4 সারণিতে লিখুন। এই পাঠটিও আপনি পরীক্ষার শেষে আবার নেবেন এবং সেটি অপরিবর্তিত আছে কিনা সে বিষয়ে নিশ্চিত হবেন।

(vii) A বীকারটি 6.1 চিত্র অনুসারে যথাস্থানে রাখুন এবং পরিষ্কার জলে পূর্ণ করুন। ইনডেকস কাঁটার মুখটি জলতলকে ঠিক স্পর্শ করে থাকবে। এজন্য ড্রপারের সাহায্যে ফোঁটা ফোঁটা জল বীকারে ফেলুন বা বীকার থেকে তুলে নিন।

এখন যদি আপনি স্টপকক S খুলে D ফানেল থেকে B বোতলে জল যেতে দেন তবে ঐ জল B বোতলের কিছু আয়তন অধিকার করে বোতলে বায়ুর আয়তন কমাবে। এর ফলে বোতলে বায়ুচাপ বাড়বে, ম্যানোমিটারের M_2 নলে জলতল না মবে এবং M_1 নলে উঠবে। কৈশিক নলের মধ্যে বায়ুচাপ বাড়ায় সেটির খোলা মুখে বুদ্‌বুদ্‌ তৈরি হবে এবং ক্রমশ সেটি বড় হয়ে কৈশিক নল থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে যাবে। কিছুটা বায়ু বুদ্‌বুদ্‌ হিসাবে নির্গত হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে বোতলে বায়ুচাপ কমে যাবে, ম্যানোমিটারের দুই নলে জলতল প্রাথমিক অবস্থার দিকে ফিরে আসবে। D ফানেল থেকে আরও জল B বোতলে যেতে থাকলে এই প্রক্রিয়ার পুনারাবৃত্তি ঘটবে। পরীক্ষাটি সুষ্ঠুভাবে করার জন্য স্টপককটি এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করুন যাতে প্রতি 10-20 সেকেন্ডে একটি করে বুদ্‌বুদ্‌ নির্গত হয়। এতে বুদবুদ গঠন বিচ্ছিন্ন হওয়ার ব্যাপারটি নিশ্চল প্রায় (quasi-static) বলে গণ্য করা যাবে এবং

বুদবুদের ভিতরের বায়ুর বেগের কোন ভূমিকা থাকবে না। মাইক্রোস্কোপটি M_1 নলের উচ্চতা বরাবর তুলে এমন অবস্থানে আনুন যাতে মাইক্রোস্কোপের মধ্য দিয়ে দেখলে M_1 নলের জলতল ক্রমশঃ নেমে এসে (প্রতিবিম্বের বিপর্যয়ের ফলে) অনুভূমিক ক্রসতারের সঙ্গে স্পর্শক হওয়ামাত্র আবার উঠে যায়। পরপর কয়েকটি বুদ্‌বুদ উৎপন্ন এবং কৈশিক নল থেকে বিচ্ছিন্ন হওয়ার সময় অনুভূমিক ক্রসতারটি যে জলতলের এই চরম অবস্থান নির্দেশ করছে সে সম্বন্ধে নিশ্চিত হয়ে নিন। এই অবস্থায় মাইক্রোস্কোপের উলম্ব স্কেলের পাঠ নিন। ভ্রান্তি এড়ানোর জন্য এই পাঠটি অন্তত দুইবার নেওয়া প্রয়োজন। থার্মোমিটার থেকে জলের উষ্ণতা দেখে নিন। মাইক্রোস্কোপের পাঠ এবং জলের উষ্ণতা 6.5 সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন। মাইক্রোস্কোপের এই পাঠ এবং (vi) অনুচ্ছেদে উল্লেখ করা পাঠের প্রভেদ M_1 নলে জলতলের উচ্চতা সর্বাধিক প্রভেদ (h') নির্দেশ করবে। আমরা ধরে নেব যে M_2 নলের প্রস্থচ্ছেদ M_1 নলের অনুরূপ এবং M_2 নলে জলতল সমপরিমাণ নেমে যায়। সুতরাং ম্যানোমিটারের দুই নলে জলতলের উচ্চতার সর্বোচ্চ প্রভেদ হবে $2h' = h$ ।

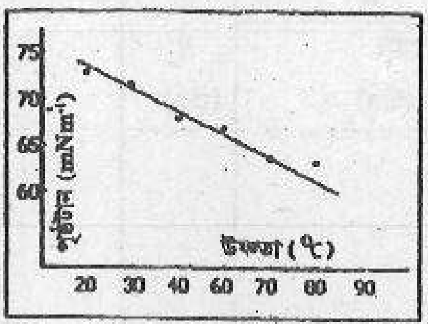
(viii) পরীক্ষাগারের উষ্ণতায় h উচ্চতার পরিমাপের পর এবার আরও বেশি উষ্ণতায় পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি করুন। এজন্য আপনি $10^\circ c$ অন্তর উষ্ণতায় পরীক্ষাটি করতে পারেন–যথা $40^\circ C$, $50^\circ C$, $60^\circ C$, $70^\circ C$, ও $80^\circ C$, উষ্ণতায়। ধরুন আপনি $60^\circ C$ উষ্ণতায় h এর মান নির্ণয় করতে চান। এজন্য বার্নারের সাহায্যে A বীকারের জল গরম করুন যতক্ষণ না থার্মোমিটারের উষ্ণতা $58^\circ c - 59^\circ c$ দেখায়। এবার বার্নারের শিখা কমিয়ে দিন। থার্মোমিটারের পাঠ 60° ছাড়িয়ে গেলে বার্নার সরিয়ে (vii) অংশের বর্ণনার মত h' এর মান নির্ণয় করুন। ইতিমধ্যে থার্মোমিটারের পাঠ $60^\circ c$ এর চেয়ে কম হলে আবার বীকারের জল অল্পক্ষণের জন্য গরম করুন এবং পাঠ $60^\circ C$ এ এলে মাইক্রোস্কোপ সামান্য ওঠানামা করে (এজন্য অল্প উপযোজন বা fine-adjustment এর স্ক্রু ব্যবহার করুন) অনুভূমিক ক্রসতারটিকে জলতলের চরম অবস্থানের সঙ্গে স্পার্শক অবস্থানে রাখুন। (vii) অংশের মত মাইক্রোস্কোপের উলম্ব স্কেলের পাঠগুলি 6.5 সারণিতে লিখে নিন। $h = 2h' = 2(R - R_o)$ রাশির মানগুলি নির্ণয় করুন।

(ix) সম্ভব হলে বীকারে রেফ্রিজারেটার থেকে ঠাণ্ডা জল রেখে পরীক্ষাগারের উষ্ণতার চেয়ে কম উষ্ণতাতেও পরীক্ষাটি করতে পারেন। পরীক্ষার শেষে (v) ও (vi) অংশে 'd'এর মান নির্ণয় ও ম্যানোমিটারের জলতলের প্রাথমিক অবস্থান নির্ণয়ের জন্য যে পাঠগুলি নিয়েছেন, সেগুলি আবার নিন।

(x) এবার পরীক্ষাগারের উষ্ণতায় (T_o) জলের পৃষ্ঠটানের মান S_o (সারণি 6.8 দেখে নিন) জেনে নিয়ে ঐ উষ্ণতায় d ও h এর মান, অর্থাৎ d_0 ও h_o, 6.5 সারণি থেকে নিয়ে 6.5 সূত্রের সাহায্যে f (r) এর মান নির্ণয় করুন। এই উপাত্তগুলি আপনি 6.6 সারণিতে লিখতে পারেন। শতাংশের হিসাবে r ও f (r) এর মধ্যে আপেক্ষিক পার্থক্য নির্ণয় করুন।

(xi) এবার 6.4 সূত্র এবং 6.5 সারণিতে লিপিবদ্ধ উপাত্তগুলি ব্যবহার করে পরীক্ষাগারের উষ্ণতা ছাড়া অন্যান্য যে উষ্ণতায় আপনি পরীক্ষা করেছেন, সেগুলিতে জলের পৃষ্ঠটান গণনা করুন। বিভিন্ন উষ্ণতায় নির্ণীত পৃষ্ঠটানের মানগুলি উষ্ণতার সঙ্গে একটি লেখচিত্রে বসান এবং বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে সবচেয়ে মানানসই সরলরেখাটি আঁকুন। এই সরলরেখাটি অবশ্যই T_o (পরীক্ষাগারের উষ্ণতা) - S_o বিন্দুর মধ্য দিয়ে যাবে।

6.3.3 পরীক্ষালব্ধ ফল ও উপাত্ত সারণি



উষ্ণতা পৃষ্ঠটান রেখাচিত্র

চিত্র 6.3

সারণি 6.1 - চলমান মাইক্রোস্কোপের স্কেলের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় মূল স্কেলের সবচেয়ে ছোট দাগের মান (x) =

ভার্নিয়ার স্কেলের ...... (n_1) টি দাগ = মূল স্কেলের.... (n_2) টি দাগ ভার্নিয়ার স্কেলের 1 দাগের মান $= xn_2/n_1$

∴ ভার্নিয়ার ধ্রুবক = মূলস্কেলের ছোট দাগের মান — ভার্নিয়ার স্কেলের দাগের মান

$$= x - xn_2/n_1$$
$$= x(1 - n_2/n_1)$$

সারণি 6.2 কৈশিক নলের আভ্যন্তরীণ ব্যাসার্থ নির্ণয়

স্কেল	ছিদ্রের বাম বা নিচের প্রান্তের পাঠ (R_1)			ছিদ্রের ডান বা উপরের প্রান্তের পাঠ (R_2)			ব্যাস	গড়ব্যাস	ব্যাসার্ধ
	মূলস্কেল পাঠ (cm)	ভার্নিয়ার স্কেল পাঠ	মোট (cm)	মূলস্কেল পাঠ (cm)	ভার্নিয়ার স্কেল পাঠ	মোট (cm)	$R_2 \sim R_1$ (cm)	D (cm)	$r = D/2$ (cm)
অনুভূমিক উলম্ব									

সারণি 6.3 — 'd' রাশির মান নির্ণয়

পাঠের সময়	কৈশিকনলের খোলামুখের পাঠ			ইনডেক্স পিনের সূচিমুখের পাঠ			গভীরতা	গড়
	মূলস্কেল (cm)	ভার্নিয়ার	মোট (cm) (R_1)	মূলস্কেল (cm)	ভার্নিয়ার	মোট (cm) (R_2)	d $(=R-R)$ (cm)	d (cm)
পরীক্ষার পূর্বে পরীক্ষার পরে								

সারণি 6.4 ম্যানোমিটারে জলতলের প্রাথমিক অবস্থান নির্ণয়

পাঠের সময়	ম্যানোমিটারের খোলা নলে (M_1) জলতলের অবস্থানের পাঠ			গড়
	মূলস্কেল (cm)	ভার্নিয়ার	মোট (cm)	R_o (cm)
পরীক্ষার পূর্বে	(i) (ii)			
পরীক্ষার পরে	(i) (ii)			

সারণি 6.5 বুদ্বুদ্ উৎপাদনের সময় (M_1) নলে জলতলের চরম অবস্থানের পাঠ

ক্রমিক সংখ্যা	জলের উষ্ণতা (°C)	পাঠের ক্রমিক সংখ্যা	মাইক্রোস্কোপের স্কেলের পাঠ			গড় পাঠ R (cm)	প্রাথমিক পাঠ R_o (cm) সারণি 4 থেকে	$h = 2(R \sim R_o)$ (cm)
			মূলস্কেল (cm)	ভার্নিয়ার স্কেল	মোট (cm)			
1	(T_r) পরীক্ষাগারের উষ্ণতা	i) ii)	....	....	....	....	....	...... (h_o)
2	......	i) ii)	....	....	....	....	....	....
3	....	i) ii)	....	....	....	....	....	....

সারণি 6.6 f(r) রাশির মান নির্ণয় ($g = 9\cdot79mS^{-2}$)

পরীক্ষাগারের উষ্ণতা $T_r(^\circ c)$	$T_r{}^\circ C$ -এ জলের ঘনত্ব $\sigma_o(gmcm^{-3})$	d_o (সারণি6.3) (m)	(h_o) (সারণি 6.5) (cm)	ম্যানোমিটার তরলের জল ঘনত্ব ρ $(gmcm^{-3})$	T_r উষ্ণতায় S-এর জ্ঞাত মান	f(r) $= \frac{2S}{g(h_o\rho - d\sigma_o)}$

সারণি 6.7 বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের পৃষ্ঠটান নির্ণয়

$g = 9.79ms^{-2}; d = ...cm$ (সারণি 6.3); $\rho =$ $gmcm^{-3}$; f(r) = cm

জলের উষ্ণতা ($^\circ C$)	জলের ঘনত্ব $(gmcm^{-3})$	h (cm)	$S = \frac{f(r)\cdot g}{2}(h\rho - d\sigma)$ (mNm⁻¹)
....	....	....	....
....	....	....	....
....	....	....	....

$*1mNm^{-1} = 10^{-3} Newton/metre = 1dyne/cm$

সারণি 6.8

বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব এবং পৃষ্ঠটান

উষ্ণতা C	জলের ঘনত্ব kgm^{-3}	পৃষ্ঠটান mNm^{-1}
0	999.84	75.7
10	999.70	74.2
15	999.09	73.5
20	998.20	72.75
25	997.04	72.0
30	995.65	71.2
40	992.22	69.6
50	988.04	67.9
60	983.20	66.2
70	977.77	64.4
80	971.79	62.6
100	958.36	58.8

6.3.4 পরীক্ষালব্ধ ফলের ত্রুটি আলোচনা

6.4 ও 6.5 সমীকরণ দুটি একত্রিত করে পাওয়া যায়

$$S = S_o \frac{h\rho - d\sigma}{h_o\rho - d\sigma_o} \approx S_0 \frac{h-d}{h_o-d} \qquad ....6.6$$

কেননা এ ক্ষেত্রে পরীক্ষাধীন তরল ও ম্যানোমিটারের তরল, উভয়েই জল এবং সব উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব মোটামুটিভাবে সমান, অর্থাৎ $\rho = \sigma_o \approx \sigma$ । সুতরাং এক্ষেত্রে পরিমাপযোগ্য রাশি (h-d) এবং $(h_o - d)$ ।

h বা h_o দৈর্ঘ্য মাপার জন্য আপনাকে মাইক্রোস্কোপের ক্রসতার ম্যানোমিটারের নলে জলতলের স্পার্শকভাবে বসিয়ে দুবার পাঠ নিয়ে সে দুটির প্রভেদ নির্ণয় করতে হয়। প্রতিটি পাঠে দুটি ভিন্ন কারণে ত্রুটি ঘটে। এগুলি হল ক্রসতারটি ঠিক জায়গায় বসানোর ত্রুটি এবং ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ নেওয়ার ত্রুটি। 6.5 সারণিতে 'R' এর যে দুটি করে পাঠ নিয়েছেন সেগুলির প্রভেদ থেকে আপনি R পাঠে ত্রুটির পরিমাণ আন্দাজ করতে পারবেন। ধরা যাক 'R' বা 'R_o' এর পাঠে ত্রুটি 3 ভার্নিয়ার দাগ, অর্থাৎ .003 cm । সেক্ষেত্রে $h(= R \sim R_o)$ বা h_o রাশির মধ্যে ত্রুটি $\sqrt{(\cdot 003)^2 + (\cdot 003)^2} \approx \cdot 004cm$

d রাশিটি মাপা অপেক্ষাকৃত সুবিধাজনক কেননা ইনডেক্স কাঁটা বা কৈশিক নলের মুখের প্রতিবিম্বের সঙ্গে ক্রসতারটিকে অনেক সূক্ষ্মভাবে মেলানো যায়। তবে ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ নেওয়ার ত্রুটি এক্ষেত্রে পূর্বের

সমান। 'd' এর নির্ণীত মানের ত্রুটিও .004cm ধরে নিলে $\Delta(h-d)$ বা $\Delta(h_o-d)=\Delta h+\Delta d$ বা $\Delta h_o+\Delta d$ অর্থাৎ .008cm ধরা যেতে পারে।

এখন 6.6 সূত্র থেকে, উভয়দিকে লগারিথ্ম্ নিয়ে ও অবকলন করে

$$\frac{\Delta S}{S}=\frac{\Delta(h-d)}{h-d}+\frac{\Delta(h_o-d)}{h_o-d}$$

অর্থাৎ পৃষ্ঠটান নিরূপণে আনুপাতিক ত্রুটি h-d এবং h_o- d রাশি দুটির আনুপাতিক ত্রুটির যোগফল। । h-d এবং h_o- d রাশিগুলির মান 4 সেন্টিমিটারের কাছাকাছি হয়ে থাকে। সেক্ষেত্রে

$$\frac{\Delta S}{S}=2\times\frac{.008}{4}=0.4\%$$

বাস্তবে পৃষ্ঠটান নির্ণয়ে আনুপাতিক ত্রুটি এর চেয়ে বেশি হবে। এর কারণ (i) ইনডেক্স কাঁটার সূচীমুখের সঙ্গে বীকারের জলতল সঠিকভাবে মেলানো যায় না, (ii) ম্যানোমিটারের দুই দিকের নলের প্রস্থচ্ছেদে পার্থক্য থাকতে পারে এবং (iii) বুদবুদটি কৈশিক নলের মুখ থেকে বিচ্ছিন্ন হওয়ার সময় অসাম্যের (unsteadiness) ফলে f (r) এর মান স্থির না থাকতে পারে। এছাড়া উষ্ণতা যত অধিক হয়, তাপ সরবরাহ নিয়ন্ত্রণ করে উষ্ণতা স্থির রাখা ততই কঠিন হয়। সুতরাং অধিক উষ্ণতায় পরীক্ষাকালীন জলের উষ্ণতাতেও বেশ কিছুটা ত্রুটি থাকতে পারে।

6.8 সারণিটি লক্ষ্য করলে আপনি দেখবেন, প্রতি $10^{\circ}C$ উষ্ণতা বৃদ্ধিতে জলের পৃষ্ঠটান প্রায় $1\cdot 6mNm^{-1}$ পরিমাণ কমে যায়। এই পরীক্ষায় উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে জলের পৃষ্ঠটানের হ্রাস দেখানো সম্ভব হলেও এই হ্রাসের পরিমাণ সূক্ষ্মভাবে মাপা সম্ভব নয়।

6.4 সারাংশ

এই এককে আপনি ইয়েগারের পদ্ধতি নামে পরিচিত একটি বিশেষ প্রণালীতে তরলের পৃষ্ঠটান নির্ণয় করতে শিখেছেন। নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের একটি বুদবুদের ভিতরে ও বাইরে চাপের পার্থক্য নিরূপণই এই পদ্ধতির ভিত্তি। একটি আবদ্ধ পাত্রের তরলে বুদবুদ তৈরি হয় বলে এই পদ্ধতিতে বিভিন্ন উষ্ণতায় পৃষ্ঠটান নির্ণয় করা যায়। তবে একটি কৈশিক নলের মুখে উৎপন্ন বুদবুদের সর্বনিম্ন ব্যাসার্ধ ঐ নলের অভ্যন্তরীণ ব্যাসার্ধের সমান হবে কিনা সে বিষয়ে অনিশ্চয়তা থাকায় এই পদ্ধতিটি পৃষ্ঠটানের পরম (absolute) মান নির্ণয়ের উপযুক্ত নয়, বরং কোন এক নির্দিষ্ট উষ্ণতায় পৃষ্ঠটানের জ্ঞাত মানের সঙ্গে অন্য উষ্ণতায় পৃষ্ঠটানের মানের তুলনার জন্য পদ্ধতিটি উপযুক্ত।

পৃষ্ঠটান নির্ণয়ের এই পরীক্ষাটির মাধ্যমে আপনি কিছু যন্ত্রপাতি ব্যবহারের দক্ষতা অর্জন করেছেন। ভার্নিয়ার স্কেলযুক্ত চলমান মাইক্রোস্কোপ তার একটি। এই যন্ত্রটি কৈশিক নলের অভ্যন্তরীণ ব্যাসার্ধ, তরলের মধ্যে ডোবানো কৈশিক নলের মুখের গভীরতা এবং ম্যানোমিটারের নলে তরলের উচ্চতা মাপতে আপনার কাজে লেগেছে। এছাড়া বীকারের তরলে তাপ দিয়ে অথবা তাতে বরফ বা ঠাণ্ডা জল যোগ করে তাকে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ধরে রাখাও আপনাকে অভ্যাস করতে হয়েছে। পদার্থ বিদ্যার পরীক্ষায় যন্ত্রপাতি ব্যবহারের এই নৈপুণ্য অত্যন্ত প্রয়োজনীয়।

এই এককে পৃষ্ঠটানের নির্ণীত মানের ত্রুটি সম্বন্ধেও আলোচনা করা হয়েছে যাতে আপনি আপনার পরীক্ষালব্ধ মানের সূক্ষ্মতা সম্বন্ধে ধারণা করতে পারেন।

6.5 প্রশ্নাবলী

(i) ইয়েগারের পদ্ধতিতে পৃষ্ঠটান নির্ণয়ের পরীক্ষা সম্বন্ধে কয়েকটি উক্তি নিচে দেওয়া হল। এগুলির মধ্যে কোনটি সত্য এবং কোনটি মিথ্যা পাশে লিখুন।

(ক) কৈশিক নল থেকে বিচ্ছিন্ন হওয়ার সময় বুদবুদের ব্যাসার্ধ কৈশিকনলের অভ্যন্তরীণ ব্যাসার্ধের সমান হয়।

(খ) প্রতিটি বুদবুদ গঠনের সময় বায়ু ও তরলের মধ্যে তলটি নতুন করে তৈরি হয়।

(গ) যে তরলের পৃষ্ঠটান নির্ণয় করতে হবে ম্যানোমিটারে সেই তরলটিই ব্যবহার করা প্রয়োজন।

(ঘ) ম্যানোমিটারের তরল হিসাবে পারদ ব্যবহার করলে পরীক্ষাটির সূক্ষ্মতা অনেক কমে যাবে।

(ঙ) B বোতলের আয়তন ছোট হলেও পরীক্ষায় কোন অসুবিধা হবে না।

(ii) কৈশিক নলের খোলামুখের ব্যাস সাধারণত 0.6-1.0mm নেওয়া হয়। এর চেয়েও বড় বা আরও ছোট ব্যাসের নল ব্যবহার করলে পরীক্ষায় কী অসুবিধা হবে বলে মনে করেন?

(iii) এই পরীক্ষায় তরলের পৃষ্ঠটান বিভিন্ন উষ্ণতায় নির্ণয় করা যায় যা কৈশিক নলে তরলের উচ্চতা মেপে পৃষ্ঠটান নির্ণয়ের প্রচলিত পদ্ধতিতে করা যায় না। এর কারণ কী?

(iv) এই পরীক্ষার যন্ত্রসজ্জায় B বোতল এবং D ফানেল কোন ভূমিকা পালন করে?

(v) ইয়েগারের পদ্ধতিতে তরলের পৃষ্ঠটান নির্ণয় করতে কাচের উপর তরলের স্পর্শকোণ জানার কোন প্রয়োজন আছে কি?

6.6 উত্তরমালা

(i) ক —মিথ্যা, খ —সত্য, গ —মিথ্যা, ঘ —সত্য, ঙ —মিথ্যা,

ব্যাখ্যা : ক – 6.4 সূত্রের প্রতিষ্ঠায় উল্লেখ করা হয়েছে যে এই অঙ্গীকারের কোন প্রমাণ নেই। পরীক্ষার দ্বারাও r ও f(r) ভিন্ন হতে দেখা যায়।

খ —একটি বুদবুদ বিচ্ছিন্ন হওয়ার পর কৈশিক নলের খোলামুখে নতুন জলতল গঠিত হয়। আগের তলে কোন অপদ্রব্য থাকলে তা বুদবুদের সঙ্গে অপসারিত হয়।

গ—এই পরীক্ষার বর্ণনায় উভয় তরলই জল কিন্তু অন্য কোন উপযুক্ত তরল ম্যানোমিটারে ব্যবহার করা যেতেই পারে।

ঘ —পারদের ঘনত্ব 13.6 $gmcm^{-3}$ হওয়ায় h এর মান জল ম্যানোমিটারের উচ্চতার তুলনায় 13.6 গুণ কম হবে। এরফলে h পরিমাপে আনুপাতিক ত্রুটি অনেক বেশি হবে।

ঙ– B বোতলের আয়তন ছোট হলে D ফানেল থেকে বোতলে জল ঢুকলে বোতলের মধ্যে চাপ দ্রুত বেড়ে যাবে, ফলে বুদবুদ তৈরির হারও বেড়ে যাবে। এতে বুদবুদ গঠন ও বিচ্ছিন্ন হওয়ার ব্যাপারটি নিশ্চল প্রায়

থাকবে না।

(ii) কৈশিকনলের খোলামুখের ব্যাস বড় হলে বুদবুদ বিচ্ছিন্ন হওয়ার সময় চরম চাপ প্রভেদের মান কম হবে, ফলে h এর পরিমাপে আনুপাতিক ত্রুটি বেশি হবে। এতে পরীক্ষার সূক্ষ্মতা কমে যাবে। কৈশিক নল অত্যন্ত সরু হলে একটি বুদবুদ গঠিত ও বিচ্ছিন্ন হওয়ার পরেও B বোতলের বা G কাচনলে বায়ুচাপ যথেষ্ট কমবে না এবং পর পর একাধিক বুদবুদ নির্গত হবে। এতে বুদবুদগুলির নিশ্চল প্রায় অবস্থা একেবারেই থাকবে না।

(iii) এই পরীক্ষায় কৈশিক নলের মুখটি তরলে পরিবেষ্টিত থাকায় বুদবুদের জলতলের উষ্ণতা তরলের উষ্ণতার সমান হয় এবং সেটিকে নিয়ন্ত্রিত করা যায়। অপরপক্ষে বায়ুর মধ্যে রাখা কৈশিক নলে কোন তরল উত্থিত হলে তার জলতলের উষ্ণতা পরীক্ষাগারের উষ্ণতার সমান হবে, সেটিকে নিয়ন্ত্রিত করা যাবে না।

(iv) B বোতল এবং বোতলে জল ঢোকানোর D ফানেলের কাজ বোতলের মধ্যে, তথা G কাচনলে এবং কৈশিক নলের মধ্যে আবদ্ধ বায়ুর চাপ নিয়ন্ত্রিতভাবে বাড়ানো। বোতলে জল প্রবেশ করলে তার মধ্যে বায়ুর আয়তন কমে যায়, ফলে বয়েল সূত্র অনুযায়ী চাপ বাড়ে। বুদবুদ বিচ্ছিন্ন হলে আবদ্ধ বায়ুর পরিমাণ কমে যায়, ফলে চাপ কমে যায়। তখন ফানেল থেকে আরও জল বোতলে প্রবেশ করিয়ে চাপ আবার বাড়াতে হয়।

(v) এই পদ্ধতিতে কাচের উপর তরলের স্পর্শকোণ জানার কোন প্রয়োজন নেই। বস্তুত, এটি ইয়েগারের পদ্ধতির একটি বিশেষ সুবিধা।

একক 7 ☐ তাপযুগ্মের ব্যবহার— ক্রমাঙ্কন রেখা অঙ্কন ও গলনাঙ্ক নির্ণয়

গঠন

7.1 প্রস্তাবনা
উদ্দেশ্য
7.2 তাপযুগ্মের মূলতত্ত্ব
7.3 পরীক্ষা পদ্ধতি ও যন্ত্রসজ্জা
7.3.1 সারণি, লেখচিত্র ও গণনা
7.4 ত্রুটি নির্ণয়
7.5 মন্তব্য
7.6 প্রশ্নাবলী
7.7 সারাংশ
7.8 উত্তরমালা

7.1 প্রস্তাবনা

সাধারণ উষ্ণতা মাপক যন্ত্র (যেমন, ডাক্তারী থার্মোমিটার) দিয়ে উষ্ণতা মাপার পদ্ধতির সঙ্গে আপনি পরিচিত। তাপযুগ্ম থার্মোমিটার বড় উষ্ণতা -পাল্লার মধ্যে উষ্ণতা মাপার এক বিকল্প পদ্ধতি।

দুটি ভিন্ন ধাতুর সংযোগস্থলে একটা তড়িৎ বিভব প্রভেদের সৃষ্টি হয়। এই বিভব পার্থক্যের মান ও দিক নির্ভর করে ধাতু দুটোর উপাদান ও তাদের সংযোগস্থলের উষ্ণতার উপর। দুটো ভিন্ন ধাতুর প্রত্যেকটির প্রান্তদুটিকে একত্রিত করে দুটি সংযোগস্থল তৈরি করা হলে এই যুগ্ম ধাতুর সমন্বয়কে তাপযুগ্ম (Thermocouple) বলে। এই তাপযুগ্মের দুটি সংযোগস্থলের মধ্যে উষ্ণতার পার্থক্য থাকলে তাদের বিভব প্রভেদ দুটির মধ্যে অসাম্যের সৃষ্টি হয়। এর ফলে উৎপন্ন তড়িৎ বিভব পার্থক্যকে তাপ-তড়িচ্চালক বল বলে। এই তাপ-তড়িচ্চালক বলের সাহায্যে একটা সংহত বর্তনীতে যে তড়িৎ প্রবাহ হয় তাকেই আমরা তাপ তড়িৎ প্রবাহ (Thermoelectric current) বলি। উষ্ণতা পার্থক্য থেকে সৃষ্ট এই তড়িৎ প্রবাহের ঘটনাকে সীবেক ক্রিয়া (Seebeck effect) বলে।

তাপযুগ্মের সংযোগস্থলের তাপগ্রাহিতা কম থাকায় সংযোগ দুটি খুব অল্প সময়েই তাপ উৎসের সঙ্গে সাম্যবস্থায় আসে। ফলে সাধারণ উষ্ণতা মাপক যন্ত্রের তুলনায় অনেক তাড়াতাড়ি ও সঠিকভাবে উষ্ণতা মাপা যায়। দ্বিতীয়ত, বিভিন্ন ধরণের তাপযুগ্ম ব্যবহার করে কম উষ্ণতা (প্রায় $-270^{\circ}C$) থেকে খুব বেশি উষ্ণতা (প্রায় $2000^{\circ}C$) পর্যন্ত মাপা যায়।

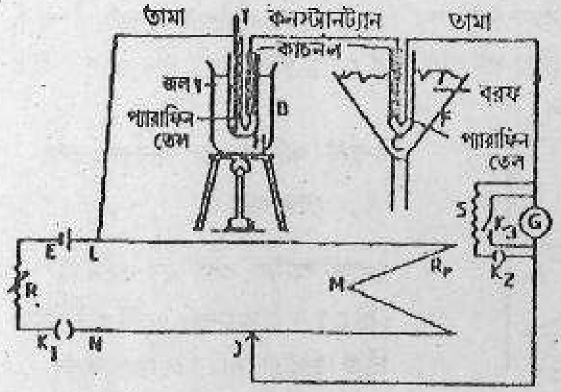
তাপযুগ্মের প্রধান ব্যবহারগুলো হল : (i) ক্রমাঙ্কন রেখার সাহায্যে কোন বস্তুর উষ্ণতা মাপা (ii) তাপ বিকিরণ পরিমাপ করে উষ্ণতা মাপা, (iii) বেশি কম্পাঙ্কের কিন্তু কম মানের পরিবর্তী প্রবাহ মাপা, (iv) পদার্থের গলনাঙ্ক নির্ণয় করা। এই কারণেই তাপযুগ্মের ব্যবহার ও তার সাহায্যে উষ্ণতা মাপার পদ্ধতি সম্পর্কে আপনারা স্বভাবতই আগ্রহী হবেন।

উদ্দেশ্য : এই পরীক্ষার মূল উদ্দেশ্য পদার্থের গলনাঙ্ক নির্ণয় করা। এর পদ্ধতি আয়ত্ত করা ছাড়াও এই পরীক্ষার দ্বারা আপনি—

- তামা-কনস্ট্যানট্যান (Copper-Constantan) বা ঝালাই করার যোগ্য অন্য দুটি ধাতুর তাপযুগ্ম তৈরি করার দক্ষতা অর্জন করবেন।
- পোটেনসিওমিটারের (potentiometer) ব্যবহার শিখবেন যা পদার্থবিদ্যা গবেষণাগারের বিভিন্ন পরীক্ষাতে কাজে লাগে।
- ল্যাম্প এবং স্কেল (Lamp and Scale) যুক্ত আলম্বিত কুণ্ডলী গ্যাল ভানোমিটারের ব্যবহার আয়ত্ত করতে পারবেন।
- খুব কম তড়িৎ চালক বল (মাইক্রোভোল্ট পরিমাণের) মাপতে সক্ষম হবেন এবং
- ভোল্টমিটার, মাল্টিমিটার প্রভৃতি ব্যবহার করা শিখতে পারবেন।

7.2 তাপযুগ্মের মূলতত্ত্ব

তাপযুগ্মের শীতল সংযোগস্থলের (Cold or Reference junction) উষ্ণতা বরফের গলনাঙ্ক $0^\circ C$ এ স্থির রেখে উষ্ণ সংযোগস্থলের বিভিন্ন উষ্ণতায় উৎপন্ন তড়িচ্চালক বল বনাম উষ্ণতার লেখচিত্রকে তাপযুগ্মের ক্রমাঙ্কন লেখ (Calibration Curve) বলে। শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতা $0^\circ C$ স্থির রেখে পরীক্ষাধীন সংযোগের উষ্ণতার ($t^\circ C$) সঙ্গে তাপ তড়িৎচালক বলের পরিবর্তনের হারকে $t^\circ C$ তাপযুগ্মের তাপ তড়িৎ ক্ষমতা (Thermoelectric Power) বলে। একে $\mu v/^\circ c$ এককে সাধারণত প্রকাশ করা হয়। ক্রমাঙ্কন রেখার কোন বিন্দুতে নতি সেই উষ্ণতায় তাপতড়িৎ ক্ষমতা নির্দেশ করবে। পরীক্ষায় ব্যবহৃত উষ্ণতা পাল্লার মধ্যে ক্রমাঙ্ক রেখাটি প্রায় সরলরেখা বলে কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তাপতড়িৎ ক্ষমতা কোন উষ্ণতা পাল্লার মধ্যে গড় তড়িৎক্ষমতার প্রায় সমান হবে।



চিত্র 7.1

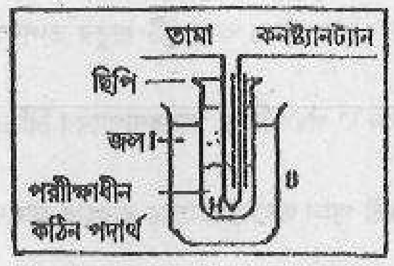
চিত্র 7.1 অনুযায়ী যান্ত্রিক ব্যবস্থা ও তড়িৎ বর্তনী সম্পূর্ণ করুন। চিত্রটি থেকে লেখা যায় যে,

$$\sigma = \frac{E}{R+R_p} \times R_p \times 10^3 \mu V/cm .... 7.1$$

এখানে, σ = পোটেনসিওমিটারের তারের প্রতি সে.মি. এর উপর বিভব পতন ($\mu v/cm$ এককে) E= বদ্ধবর্তনীতে

পাওয়ার সাপ্লাই এর আউটপুট প্রান্তদুটির মধ্যে বিভব প্রভেদ (ভোল্টএককে) , R_p পোটেনসিওমিটারের তারগুলির মোট রোধ, (ওহ্‌ম এককে) ও R = পোটেনসিওমিটারের সঙ্গে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত রোধ (ওহ্‌ম এককে)

সমীকরণ (7.1) থেকে পাই, $R = \left(\frac{E}{\sigma} \times 10^3 - 1\right)R_p$ 7.2



চিত্র 7.2

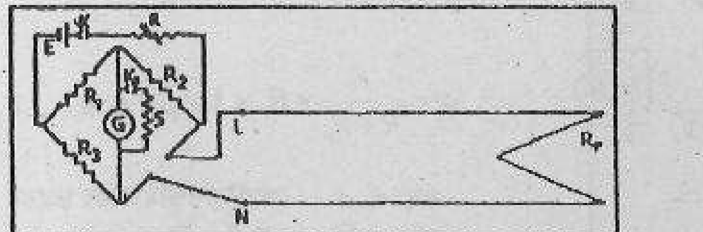
E, R_p মেপে ও σ এর উর্দিষ্ট মান থেকে 7.2 সমীকরণ ব্যবহার করে R এর মান বার করতে পারবেন। এই R এর মান পরীক্ষার শেষ পর্যন্ত গণনার সুবিধার জন্য অপরি বর্তিত রাখুন। তামা-কনস্ট্যানট্যান তাপযুগ্মের ক্ষেত্রে এর মান $5\mu v/cm.$ এর প্রায় সমান হলে সুবিধা হয়।

পরীক্ষণীয় সংযোগস্থলের যে কোন উষ্ণতা $t^\circ c$ এ উৎপন্ন তাপ তড়িৎ চালক বল e হলে $e = \sigma \ell \mu v$ 7.3

এখানে পোটেনসিওমিটারের তারের যে দৈর্ঘ্যের মধ্যে বিভব প্রভেদ দ্বারা তাপ তড়িচ্চালক বল প্রশমিত হয় তা হল ℓ cm । e বনাম t এর লেখচিত্র আঁকলে $30^\circ C - 90^\circ C$ উষ্ণতা পাল্লার মধ্যে তা প্রায় সরলরেখা হয়।

কোন কঠিন পদার্থে (চিত্র 7.2) নির্দিষ্ট হারে তাপ দিলে সেটি তাপ বর্জন করে তরল অবস্থা থেকে শীতল হতে থাকলে সেটির যথাক্রমে গলন ও কঠিনীভবন ঘটে। গলনাঙ্কে পৌঁছে পদার্থটি যতক্ষন লীনতাপ গ্রহণ বা বর্জন করে ততক্ষণ তার উষ্ণতা স্থির থাকে। তাপন ও শীতলনের লেখচিত্র (চিত্র 7 5 কও খ) থেকেএই স্থির উষ্ণতায় পোটেনসিওমিটারের প্রশমন বিন্দুর (Null point) অবস্থান ℓ_m ও ℓ_f এবং সেগুলির গড় মান $\ell_x \left(= \frac{l_m + l_f}{2} \right)$ ব্যবহার করে গলনাঙ্কে উৎপন্ন তড়িচ্চালক বল $e_x = \sigma \ell_x \mu V$ নির্ণয় করা যায়। ক্রমাঙ্কন লেখচিত্র থেকে এই তড়িচ্চালক বলের জন্য যে উষ্ণতা পাওয়া যাবে সেটিই পদার্থের গলনাঙ্ক।

বিকল্প পদ্ধতিতে আমরা উষ্ণ সংযোগস্থলের উষ্ণতা $t^\circ c$ ও তাপ তড়িচ্চালক বল e এর মধ্যে সম্পর্ক $e = at + bt^2$ ধরতে পারি, যেখানে a ও b কোন তাপযুগ্মের নির্দিষ্ট ধ্রুবক। দুটি নির্দিষ্ট উষ্ণ সংযোগস্থলের উষ্ণতায় (ঘরের উষ্ণতা ও জলের স্ফুটনাঙ্ক) তাপ তড়িচ্চালক বল বের করে উপরের সমীকরণ থেকে a ও b বের করতে পারবেন। এরপর উপরের দ্বিঘাত সমীকরণটির সমাধান করে t বা গলনাঙ্কের মান বের করতে পারবেন। তবে এক্ষেত্রে প্রথম পদ্ধতিই আলোচনা করা হল।



চিত্র 7.3

পোস্ট অফিস বক্স ব্যবহার করে R_p বের করা ঃ

পোস্ট অফিস বক্স- এর বর্তনীটি (চিত্র 7.3) আসলে একটি হুইটস্টোন ব্রিজ। ব্রিজটি সাম্যাবস্থায় থাকলে, অর্থাৎ G গ্যালোভানোমিটারের

তড়িৎপ্রবাহ শূন্য হলে, হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি অনুসারে পাই, $R_P = {R_2}/{R_1} \times R_3$ এখানে R_1, R_2 = পোস্ট অফিস বক্সের অনুপাত বাহুদুটির রোধ এবং R_3 = পোস্ট অফিস বক্সের তৃতীয় বাহুর রোধ। সুতরাং ব্রিজের সাম্য প্রতিষ্ঠিত করে P,Q ও R এর মান জেনে R_p -এর মান বের করতে পারবেন।

7.3 পরীক্ষাপদ্ধতি ও যন্ত্রসজ্জা

এই পরীক্ষাটি করতে প্রথমে আপনাকে তাপযুগ্মটি তৈরি করে নিয়ে 7.1 চিত্র অনুযায়ী বর্তনীতে যোগ করতে হবে। বর্তনীতে যে পোটেনসিওমিটার রয়েছে সেটির রোধ আপনাকে নির্ণয় করে নিতে হবে। তাপযুগ্মের উষ্ণ সংযোগটিকে বিভিন্ন উষ্ণতায় রেখে আপনি তড়িচ্চালক বল মাপতে পারবেন এবং নির্ণীত মাপগুলি ব্যবহার করে একটি ক্রমাঙ্কন লেখচিত্র অঙ্কন করতে পারবেন। পরে এই ক্রমাঙ্কন লেখচিত্রের সাহায্যেই অজ্ঞাত উষ্ণতা নির্ণয় করা যাবে। পরীক্ষার বিভিন্ন ধাপগুলি এবার আলোচনা করা যাক।

(i) তাপযুগ্ম তৈরি করার পদ্ধতি

তাপযুগ্ম তৈরি করার জন্য আপনার প্রয়োজন হবে ঃ

(1) এনামেল করা তামার তার আর কনস্ট্যানট্যান তার। উভয় প্রকার তারের ব্যাস 20-22 S. W.G. এর মত হলে চলবে।

(2) প্লায়ারস (Pliers)

(3) বালি-কাগজ (Sand paper)

(4) ছোট তাতাল (Soldering iron)

(5) রজন-যুক্ত সল্ডার স্টিক

(6) কাচের নল (প্রায় 3mm ব্যাস)

প্রায় 1 মিটার দৈর্ঘ্যের তিন টুকরা তার নিন, যার মধ্যে একটা কনস্ট্যানট্যান (60%Cu ; 40% Ni) আর অন্য দুটি তামার তার। বালি কাগজ দিয়ে তারের প্রান্তগুলিকে ঘষে ভাল করে পরিষ্কার করুন। কনস্ট্যানট্যান তারের দুই প্রান্তের প্রত্যেকটিতে একটি করে প্রায় 10 cm লম্বা কাচের নল ঢোকান। কনস্ট্যানট্যান তারের দুই প্রান্তে একটি তামার তারের প্রান্ত একত্র করে দুটির প্রায় 1 সে.মি. দৈর্ঘ্য প্লায়ারস দিয়ে ভালভাবে পেঁচিয়ে দিন। তামার তারের অন্য দুটি প্রান্ত খোলা থাকবে ও পরে বর্তনীতে যোগ করতে হবে। রজন যুক্ত ঝাংঝালের তার (resin cored solder stick) ব্যবহার ক রে পেঁচান অংশ দুটিকে ঝালাই করে নিন। রাংঝাল যত কম ব্যবহার করবেন ততই ভাল কেননা তাতে সংযোগের তাপগ্রাহিতা ততই কম হবে। ঝালাই করা সংযোগস্থল দুটির 3mm এর মত দৈর্ঘ্য রেখে বাকিটা কাটার (cutter) দিয়ে কেটে বাদ দিয়ে দিন। মাল্টিমিটারের (রোধমাপক হিসাবে) দুটি প্রান্ত তাপযুগ্মের দুটি খোলা প্রান্তের সঙ্গে ঠেকালে 1Ω এর মত রোধ পাওয়া যাবে। সেটা হবে তৈরি করা তাপযুগ্মের অবিচ্ছিন্নতার প্রমাণ।

(ii) পোস্ট অফিস বক্সের সাহায্যে R_p নির্ণয়

(1) চিত্র 7.3 অনুযায়ী বর্তনী তৈরি করুন। বর্তনীর প্রয়োজনীয় অংশগুলির তালিকা বর্তনীর নিচে দেওয়া হল।

(2) যদি লেক্লাঁশ কোষ (Leclanche cell) এর বদলে একটি পাওয়ার সাপ্লাই, যার ডি.সি. আউটপুট 2v, 0.5A, ব্যবহার করতে হয়, তাহলে অন্তত 100Ω এর রিওস্ট্যাট বর্তনীতে লাগাতে হবে যাতে তড়িৎপ্রবাহ 20mA এর মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে।

(3) অনুপাত বাহু $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 10\Omega$ করুন। তৃতীয় বাহুতে 5Ω ও 50Ω রোধ দিয়ে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ দেখুন। যেহেতু পোটেনশিওমিটারের তারের রোধ 5Ω থেকে বেশি এবং 50Ω থেকে কম হয় এই দুটি রোধের জন্য বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হবে। এরপর তৃতীয় বাহুর রোধ পরিবর্তন করুন যাতে তৃতীয় বাহুতে r_1 ও (r_1+1) ওহম রোধ এর জন্য বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হয়। হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি অনুযায়ী পোটেনশিওমিটারের তারের রোধ R_1 ও (r_1+1) ওহমের মধ্যে।

(4) এবার $R_1 = 100$ ওহম ও $R_2 = 10$ ওহম্ করুন। তৃতীয় বাহুতে রোধ $10r_1$ থেকে বাড়াতে থাকুন যাতে r_2 ও (r_2+1) ওহমের মধ্যে বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হয়। হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি অনুসারে তারের রোধ $\frac{1}{10}r_2$ ও $\frac{(r_2+1)}{10}$ এর মধ্যে থাকবে। যদি $r_2 = R_o$ ওহমে কোন বিক্ষেপ না পাওয়া যায় (অর্থাৎ প্রশমন বিন্দু বা null point পাওয়া যায়) তবে নির্ণেয় রোধ $= \frac{R_o}{10}$ ওহম। যদি প্রশমন বিন্দু না পাওয়া যায় তবে $R_1 = 1000$ ওহম ও $R_2 = 10$ ওহম নিয়ে একই পদ্ধতি অনুসরণ করুন। হুইটস্টোন ব্রীজের সুবেদিতা কম হলে অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ বোঝা না গেলে R_1 বাহুতে 100 ওহম রোধ ব্যবহার না করাই শ্রেয়। সেক্ষেত্রে $R_1 = 100\ \Omega$ $R_2 = 10\Omega$ রেখা প্রশমন বিন্দুর পাঠ থেকে (অর্থাৎ $\frac{R_o}{10}$ ওহম) অথবা প্রশমন বিন্দু না পাওয়া গেলে $\frac{1}{10}r_2$ ও $\frac{1}{10}(r_2+1)$ এর গড় মানকে পোটেনশিওমিটারে তারের রোধ R_p হিসাবে ধরে নিন।

R_p নির্ণয়ের পাঠগুলি সারণি 7.1 -এ লিখুন।

(iii) R এর মানের গণনা

পোটেনশিওমিটারটিকে 7.1 চিত্রের বর্তনীতে যুক্ত করুন। পোটেনশিওমিটার বর্তনীতে চালক (driving) তড়িচ্চালক বলের জন্য অ্যাসিড স্টোরেজ সেল অথবা ডি.সি. আউটপুট 2V/0.5A এর রেগুলেটেড পাওয়ার সাপ্লাই ব্যবহার করুন। বর্তনীতে R = 5000 ওহম রোধ রেখে ভোল্টমিটার দিয়ে বদ্ধ বর্তনীতে সেলের (অথবা পাওয়ার সাপ্লাই এর) প্রান্ত দুটির মধ্যে বিভব প্রভেদ E মাপুন। এই পরীক্ষায় σ অর্থাৎ পোটেনশিওমিটারের তারের প্রতি সেমি পিছু বিভব পতন $5\mu v$ হলে আপনার কাজের সুবিধা হবে। সুতরাং 7.2 সমীকরণে E এবং R_p এর নির্ণীত মান এবং $\sigma = 5\mu v/\text{cm}$ বসিয়ে R এর মান নির্ণয় করুন।

(উদাহরণ স্বরূপ, যদি $E = 1.90v$, $R_p = 16.2\Omega$ হয় তবে $R = \left(\frac{1 \cdot 90 \times 10^3}{5} - 1\right) 16 \cdot 2 = 6140\Omega$)

(iv) চিত্র (7.1) অনুযায়ী সংযোগ করে বর্তনীটি সম্পূর্ণ করুন। বালি-কাগজ দিয়ে ঘষে তারের প্রান্ত এনামেল মুক্তকরে প্রতিটি প্রান্ত আঁট করে টার্মিনালে আটকে দিন। তামা- কনস্ট্যানট্যান তাপযুগ্মের উষ্ণ সংযোগটি ধনাত্মক, কাজেই এই সংযোগের মুক্ত তামার তার ও পোটেনশিওমিটার বর্তনীতে ব্যবহৃত তড়িৎ কোষের ধনাত্মক প্রান্ত পোটেনশিওমিটারের একই প্রান্তে (L) যোগ করুন যাতে দুটি বিভব প্রভেদ বিপরীত দিকে কাজ করে। তড়িৎ কোষ অথবা তাপযুগ্মের কোন একটির সংযোগ বিপরীত হলে পোটেনশিওমিটারে প্রশমন বিন্দু পাওয়া যাবে না। পোটেনশিওমিটারের সঙ্গে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত রোধ বাক্স থেকে পূর্বে নিরূপিত মানের রোধ R তুলে নিন। পরীক্ষা চলাকালীন R এর মান অপরিবর্তিত রাখুন। তাপযুগ্মের উষ্ণ সংযোগটি একটি টেস্ট টিউবে প্যারাফিন তেলের মধ্যে ডুবিয়ে দিন। টেস্ট টিউবটি বীকারের জলের মধ্যে ডুবিয়ে রাখুন এবং থার্মোমিটারটি এমনভাবে টেস্ট টিউবে ঢুকিয়ে রাখুন যাতে তার কুণ্ডটি প্যারাফিন তেলের মধ্যে উষ্ণ সংযোগটির ঠিক পাশে থাকে। একই ভাবে আর একটি টেস্ট টিউবে প্যারাফিন তেল নিয়ে সেটি একটি ফানেলের মধ্যে বরফের ভিতর ঢুকিয়ে দিন যাতে তার চারিদিকে বরফের টুকরো আঁটভাবে থাকে। তাপযুগ্মের শীতল সংযোগটি এই টেস্ট টিউবের তেলের মধ্যে রাখুন। পরীক্ষা চলাকালীন লক্ষ্য রাখুন, টেস্ট টিউবে তেলে পূর্ণ অংশটি যেন সর্বদাই বরফ দিয়ে ঘেরা থাকে।

(v) পোটেনশিওমিটারের বর্তনীতে K_1 চাবিটি বন্ধ করে জকিটি প্রথম তারের একপ্রান্তে ও তারপর দশম তারের শেষ প্রান্তে ঠেকান। যদি গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দুটি ক্ষেত্রে উল্টো দিকে হয়, তবে বর্তনীটি সঠিক আছে। সুতরাং এই বার পরীক্ষাটির উপাত্ত সংগ্রহ করা আরম্ভ করুন যদি বিক্ষেপএকই দিকে হয় তবে কি করা যুক্তি সঙ্গত তা আমরা পরে আলোচনা করব। (মন্তব্য (ii) দেখুন)

(vi) ঘরের উষ্ণতায় তিনবার প্রশমন বিন্দুর পাঠ নিন। এদের গড় এই উষ্ণতায় তাপ তড়িৎচালক বলের পরিমাপ দেবে।

(vii) তাপ উৎসটি অর্থাৎ বার্নার বা স্টোভটি উষ্ণ সংযোগ যে বীকারের মধ্যে আছে তার নিচে রাখুন। উষ্ণতা থার্মোমিটারের পাঠের $10°C$ অন্তর বাড়ান ও প্রতিবারই থার্মোমিটারের পাঠ স্থির রেখে প্রশমন বিন্দুর পাঠ নিন। এইভাবে উষ্ণতা $90°C$ পর্যন্ত বাড়িয়ে যান। এরপর তাপ উৎসটি সরিয়ে নিয়ে উষ্ণ সংযোগটি আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা হতে দিন। $10°C$ অন্তর আগের উষ্ণতাগুলিতে প্রশমন বিন্দুর পাঠ নিয়ে যান যতক্ষণ না উষ্ণতা ঘরের উষ্ণতায় পৌঁছায়। এইভাবে তাপন ও শীতলনের সময় প্রশমন বিন্দুর দুই প্রস্থ পাঠ নেওয়া যাবে। এই দুই প্রস্থ পাঠ থেকে প্রতি উষ্ণতায় প্রশমন বিন্দুর গড় অবস্থান নির্ণয় করুন এবং সমস্ত পাঠ 7.2 সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন। প্রতিটি প্রশমন বিন্দুর জন্য প্রশমন দৈর্ঘ্য নির্ণয় করুন। প্রশমন দৈর্ঘ্য গণনার জন্য আপনি যে তারে (ধরুন n তম) প্রশমন বিন্দু পেয়েছেন তার আগের তারগুলির মোট দৈর্ঘ্য অর্থাৎ 100 (n -1) নির্ণয় করুন। এবার n অযুগ্ম হলে স্কেলের পাঠ x এবং n যুগ্ম হলে 100-x তার সঙ্গে যোগ করুন। সারণি 7.2 তে আপনি এর উদাহরণ দেখতে পাবেন। প্রশমন দৈর্ঘ্যের মান 7.2 সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন।

প্রশমন দৈর্ঘ্যগুলিকে σ দিয়ে গুণ করে উষ্ণ সংযোগের প্রতি উষ্ণতায় (t) তড়িচ্চালক বল e নির্ণয়

করুন। লেখচিত্রে t- এর সঙ্গে তড়িৎচালক বল (e) স্থানাঙ্কন (plot) করুন এবং অঙ্কিত বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে সবচেয়ে মানানসই সরলরেখা আঁকুন যেটি (t = o, e = o) বিন্দুর মধ্য দিয়ে যায়। এবার এই সরলরেখা থেকে (চিত্র 7.4) তার নতি $\frac{de}{dt}$ অর্থাৎ তাপযুগ্মের তাপতড়িৎ ক্ষমতা নির্ণয় করুন।

(viii) কঠিন পদার্থের (যথা ন্যাপথালিন) গলনাঙ্ক নির্ণয় ঃ

ন্যাপথালিনের কয়েকটি ছোট ছোট টুকরো একটি হার্ড গ্লাস টেস্ট-টিউবের ভেতর এমনভাবে রাখুন যাতে উচ্চতা ব্যাসের চেয়ে কিছু বেশি হয়। এবার উষ্ণ সংযোগটি ঐ টুকরোগুলির মধ্যে রেখে চিত্র 7.2 অনুযায়ী যান্ত্রিক ব্যবস্থা সম্পূর্ণ করুন। তাপ-উৎসটি জলভর্তি বীকারের তলায় রাখুন। বীকারের জল যখন গরম হতে থাকবে তখন এক মিনিট অন্তর পোটেনশিওমিটারের তারে প্রশমন বিন্দু নির্ণয় করুন এবং তার অবস্থান 7.3 সারণিতে লিখুন। ক্রমশ ন্যাপথালিন গলতে আরম্ভ করবে এবং টেস্ট টিউবের মধ্যে অস্বচ্ছ টুকরোগুলি স্বচ্ছ তরলে পরিণত হবে। লক্ষ্য করুন যে যতক্ষণ ন্যাপথালিন সম্পূর্ণ গলিত না হয় ততক্ষণ প্রশমন বিন্দু অনড় থাকে। এরপর প্রশমন বিন্দু আবার সরে যেতে থাকবে। দেখে নিন, উষ্ণ সংযোগটি তরলের মধ্যস্থলে আছে কিনা। প্রয়োজনমত সংযোগটি সরিয়ে ঠিক জায়গায় রাখুন এবং প্রশমন বিন্দুটি অনড় অবস্থা থেকে 80-100cm সরে গেলে তাপউৎসটি সরিয়ে নিন। উষ্ণ সংযোগের উষ্ণতা এখন কমতে থাকবে।

আগের মত প্রতি 1 মিনিট অন্তর প্রশমন বিন্দুর অবস্থানের পাঠ নিয়ে যান ও 7.3 সারণিতে তা লিখুন। পাঠ নিতে নিতে এক সময় দেখা যাবে যে টেস্ট-টিউবের গায়ের তরল অস্বচ্ছ হয়ে আসছে অর্থাৎ কঠিনীভবন আরম্ভ হয়ে গেছে। এরপর সংযোগের চারদিকের তরলও আর দেখা যাবে না। কঠিনীভবন আরম্ভ হবার পর তরলটি সম্পূর্ণ কঠিন হওয়া পর্যন্ত প্রশমন বিন্দু অনড় থাকবে। তরলের সম্পূর্ণ কঠিনীভবনের পর প্রশমন বিন্দু আরও 40-50cm সরে যাওয়া পর্যন্ত প্রশমন বিন্দুর পাঠ নিন ও সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন। এইভাবে গলন ও কঠিনীভবনের সময় তাপন ও শীতলনের এক প্রস্থ করে পাঠ পাবেন।

(ix) বীকারের জল ঠাণ্ডা হওয়ার আগেই উৎসটি বীকারের তলায় রেখে আগের অনুচ্ছেদে বিবৃত পরীক্ষা পদ্ধতির পুনরাবৃত্তি করুন, যাতে গলন ও কঠিনীভবনের আরও এক প্রস্থ করে উপাত্ত পাওয়া যায়।

x) 7.3 সারণিতে উপাত্তগুলি ব্যবহার করে গলন ও শীতলনের সময়ের সময়—প্রশমন দৈর্ঘ্য $(T - \ell)$) লেখচিত্র আঁকুন। এই লেখগুলিকে যথাক্রমে তাপন রেখা (heating curve) ও শীতলন রেখা (cooling curve) বলা হয়। প্রতিটি রেখা তিন অংশে বিভক্ত। যে সময় ধরে গলন বা কঠিনীভবন হয়েছে সে সময়ে উষ্ণতা পরিবর্তনের হার শূন্য বা খুব কম। কাজেই সময়ের সঙ্গে প্রশমন বিন্দুর অবস্থানের পরিবর্তনের হারও খুব কম। দ্বিতীয় অংশটির মাঝামাঝি প্রশমন দৈর্ঘ্যের মান তাপনরেখায় ℓ_m এবং শীতলন রেখায় ℓ_f ধরে নেওয়া যাক। তাপন ও শীতলন রেখাগুলি থেকে ℓ_m ও ℓ_f এর মান বার করে সেগুলির গড় ℓ_x নির্ণয় করুন। ℓ_x র মান থেকে $e_x = \sigma\ell_x$ নির্ণয় করুন। এই e_x উষ্ণ সংযোগটি পদার্থের গলনাঙ্কে থাকা অবস্থায় তড়িচ্চালক বল। এখন আপনি e-t লেখচিত্র থেকে e_x তড়িচ্চালক বলের সংশ্লিষ্ট উষ্ণতা বার করতে পারবেন, এবং সেটিই পদার্থের নির্ণেয় গলনাঙ্ক।

7.3.1 সারণি, লেখচিত্র ও গণনা

পোস্ট অফিস বক্সের সাহায্যে পোটেনশিওমিটারের রোধ নির্ণয়

অনুপাত বাহুদ্বয়		তৃতীয় বাহু	গ্যালভানোমিটার বিক্ষেপ অভিমুখ	মন্তব্য
$R_1 (\Omega)$	$R_2 (\Omega)$	$R_3 (\Omega)$		
10	10	1	বাঁদিকে	$1\Omega < R_p < 100\Omega$
		100	ডানদিকে	
		....	....	
		....	....	
		9	বাঁদিকে	
		10	ডানদিকে	$9\Omega < R_p < 10\Omega$
100	10	90	বাঁদিকে	
		100	ডানদিকে	
		....	....	
		....	....	
		94	বাঁদিকে	
		95	ডানদিকে	$9{\cdot}4\Omega < R_p < 9{\cdot}5\Omega$
1000	10	940	বাঁদিকে	
		950	ডানদিকে	
		....	....	
		943	বাঁদিকে	
		944	প্রশমন	$R_p = \frac{R_2}{R_1} \times R_3 = \frac{10}{1000} \times 944 = 9{\cdot}44\Omega$
		945	ডানদিক	

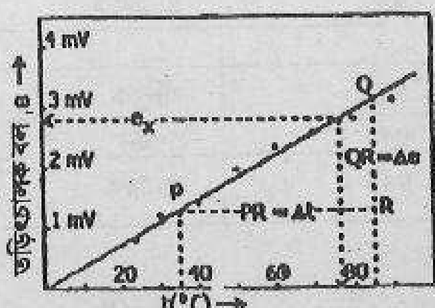
R এর গণনা : E = ... ভোল্ট

σ এর উদ্দিষ্ট মান $\sigma = 5\mu V/cm$

সুতরাং, R = $\left(\frac{E}{\sigma} \times 10^3 - 1\right) R_p = ...\Omega$

সারণি 7.2 : উষ্ণ সংযোগের বিভিন্ন উষ্ণতায় প্রশমন বিন্দুর অবস্থান ও তড়িচ্চালক বল

উষ্ণ সংযোগের উষ্ণতা $t(^\circ C)$	প্রশমন বিন্দুর অবস্থান			তড়িচ্চালক বল $e = \sigma l$ ($\sigma = 5 \mu v/cm.$)
	তার সংখ্যা	স্কেলের পাঠ x,	প্রশমন দৈর্ঘ্য (cm)	
24 পরীক্ষাগারের উষ্ণতা	2	8.3 7.8 7.7 গড় 8.0	192.0	0.960
30	3	36.4	236.4	1.188
....	....	....	....	
....	....	.....	....	....
	....	.....	....	
	.....	......	....	
	......	......	....	
	......	.....	....	
	.....	.....	....	



চিত্র 7.4: e-t লেখচিত্র

তাপ তড়িৎ ক্ষমতা $P = \frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{QR}{PR} = \frac{.....mV}{......^\circ C} = ...mV/^\circ C$

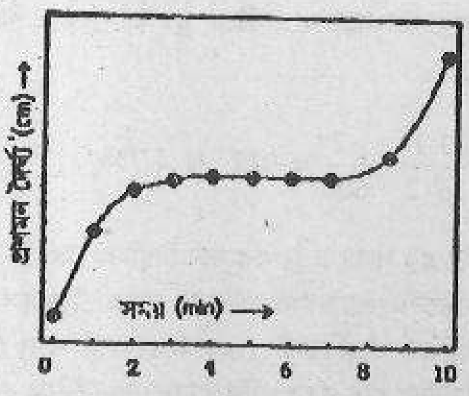
সারণি 7.3 তাপন ও শীতলনের সময় প্রশমন বিন্দু

সময় (মিনিট)	প্রথম তাপন			প্রথম শীতলন			দ্বিতীয় তাপন			দ্বিতীয় শীতলন		
	তার সংখ্যা	স্কেলের পাঠ cm	প্রশমন দৈর্ঘ্য cm	তার সংখ্যা	স্কেলের পাঠ cm	প্রশমন দৈর্ঘ্য cm	তার সংখ্যা	স্কেলের পাঠ cm	প্রশমন দৈর্ঘ্য cm	তার সংখ্যা	স্কেলের পাঠ cm	প্রশমন দৈর্ঘ্য cm

প্রথম তাপনের সময় ন্যাপথালিনের টুকরোগুলির মধ্যে ফাঁক থাকায় প্রশমন দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন কিছুটা অনিয়মিত হতে পারে। সেক্ষেত্রে তাপনরেখার মসৃণ অনুভূমিক অংশ থেকে ℓ_m নির্ণয় করুন।

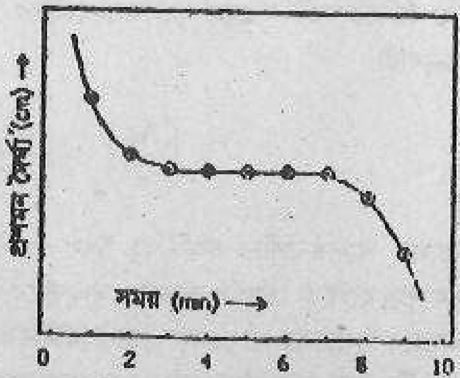
চিত্র 7.5 তাপন ও শীতলন রেখা

(ক) তাপন রেখা



চিত্র 7.5 (ক) তাপন রেখা

(খ) শীতলন রেখা



চিত্র 7.5 (খ) শীতলন রেখা

তাপন রেখা থেকে ℓ_m = ...cm

শীতলন রেখা থেকে ℓ_f = ...cm

গলন ও কঠিনীভবনের সময় প্রশমনদৈর্ঘ্যের গড় $\ell_x = \frac{1}{4}(\ldots\ldots + \ldots\ldots + \ldots\ldots + \ldots\ldots) = \ldots\ldots cm$

সংশ্লিষ্ট তড়িচ্চালক বল $e_x = 5\mu v \times ....(l_x) = ...mV$

e-t লেখচিত্র থেকে গলনাঙ্ক $x = ...{}^\circ c$

7.4 ত্রুটি নির্ণয়

(i) তড়িচ্চালক বল

7.1 ও 7.3 সমীকরণ থেকে আমরা পাই $e = \sigma\ell = \dfrac{ER_p}{R+R_p} \cdot \ell \times 10^3 \mu V$

$\Delta e, \Delta E, \Delta \ell$ প্রভৃতি রাশিগুলি যথাক্রমে e, E, ℓ প্রভৃতির ত্রুটি নির্দেশ করলে লগারিথমিক অবকলন করে লেখা যায়

$$\left(\frac{\Delta e}{e}\right)_m = \left(\frac{\Delta e}{e}\right) \text{ এর সর্বোচ্চ মান } = \frac{\Delta E}{E} + \frac{\Delta R_p}{R_p} + \frac{\Delta R_p}{R+R_p} + \frac{\Delta l}{l}$$

ধরা যাক $E = 1 \cdot 90v, \Delta E = \cdot 02v$ (ভোল্টমিটারের ক্ষুদ্রতম দাগ অথবা চোখের আন্দাজে সর্বনিম্ন ত্রুটি) $R_p = 16 \cdot 2\Omega, \Delta R_p = 0 \cdot 1\Omega, R = 6140\Omega, \Delta l = 2mm, \ell = 600cm$। আপনি পোস্ট অফিস বক্স নিয়ে R_p এর মান নির্ণয়ের সময় তৃতীয় বাহুর রোধের (R,চিত্র 7.3) যে পাল্লার উপর গ্যালভানোমিটারের শূন্য বিক্ষেপ পেয়েছেন, তার অর্ধেক ΔR_p ব্যবহার করতে পারেন। R এর ত্রুটিনগণ্য ধরতে পারেন এবং যেহেতু

$\Delta R_p << R + R_p, \dfrac{\Delta R_p}{R+R_p}$ রাশিটিকেও উপেক্ষা করা যায়। পোটেনশিওমিটারের তারে জকিটি প্রশমন বিন্দুর ডানদিকে বা বাঁদিকে যতটা সরালে গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ ধরা পড়ে না সেটিকে $\Delta\ell$ বলে ধরতে পারেন। 7.5 সূত্র অনুযায়ী

$$\left(\frac{\Delta e}{e}\right)_m = \frac{\cdot 02}{1 \cdot 90} + \frac{0 \cdot 1}{16 \cdot 2} + \frac{\cdot 2}{600} = \cdot 017 \text{ বা } 1.7\%$$

তড়িচ্চালক বলের ত্রুটির একটি বড় উৎস ভোল্টমিটারের সাহায্যে E এর মান নির্ণয়। ভোল্টমিটারের অংশাঙ্কন খুব সূক্ষ্ম হলে বা চোখের আন্দাজে সূক্ষ্মভাবে পাঠ নিলেই পোটেনশিওমিটারের চালক তড়িচ্চালক বল বেশি নির্ভুলভাবে মাপা যায় না কেননা ভোল্টমিটারের স্প্রিং-এর অরৈখিকতা (non-linearty) এবং সেটির শ্রেণী রোধে ত্রুটির জন্য ভোল্টমিটারের অংশাঙ্কনের সূক্ষ্মতা সীমিত হয়ে থাকে। ডিজিট্যাল ভোল্টমিটার ব্যবহার করে এই ত্রুটি কমানো সম্ভব।

(ii) তাপতড়িৎক্ষমতা

এই পরীক্ষায় আপনি পরীক্ষা দ্বারা নির্ণীত (e,t) বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে আঁকা সবচেয়ে মানানসই মূলবিন্দুগামী সরলরেখার নতি পরিমাপ করে তাপতড়িৎ ক্ষমতা নির্ণয় করেছেন। আপনি আগেই দেখেছেন তড়িচ্চালক বলের

নির্ণীত মানে 1.7 শতাংশের মত ক্রটি আছে। উষ্ণতা t এর মানের $\frac{1}{2}{}^{\circ}C$ এর মত অনিশ্চয়তা আছে কেননা থার্মোমিটারে $\frac{1}{2}{}^{\circ}C$ সূক্ষ্মতার পাঠ নেওয়া যায় এবং তড়িচ্চালক বল মাপার মুহূর্তে থার্মোমিটারের পাঠ আর উষ্ণসংযোগের উষ্ণতার মধ্যে সামান্য পার্থক্য থাকতে পারে। এছাড়া e ও t এর সম্পর্ক সম্পূর্ণ রৈখিক না হওয়ায় (e ,t) বিন্দুগুলি সরলরেখা থেকে অল্প বিচ্যুত থাকতে পারে। তামা-কনস্ট্যানট্যান তাপযুগ্মের ক্ষেত্রে দেখা গেছে তড়িচ্চালক বল $e = at + bt^2$ যেখানে $a = 38\cdot63\mu v/{}^{\circ}C$ এবং $b = 0\cdot04146\mu v/{}^{\circ}C^2$ 0 থেকে $100^{\circ}C$ উষ্ণতার মধ্যে bt^2 রাশির মান at এর তুলনায় খুবই অল্প হওয়ায় e ও t সম্পর্ককে মোটামুটিভাবে রৈখিক এবং তাপতড়িৎক্ষমতা প্রায় স্থির ধরা যায়।

তাপতড়িৎ ক্ষমতার ক্রটি নির্ণয়ের পদ্ধতিটি 7.6 চিত্র থেকে বুঝতে পারবেন। এখানে OP পরীক্ষালব্ধ বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে আঁকা সবচেয়ে মানানসই সরলরেখা। OP_1, OP_2 যথাক্রমে সবচেয়ে বেশি এবং সবচেয়ে কম নতির সরলরেখা যা বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে আঁকা যায়। এই দুই সরলরেখার নতি পার্থক্যের অর্ধেককে তাপতড়িৎ ক্ষমতার ক্রটি হিসাবে ধরা যায়। উদাহরণ স্বরূপ, ধরুন আপনি 7.4 চিত্র থেকে পেয়েছেন $QR = 2\cdot08mV$, $PR = 50^{\circ}C$ $\Delta e/\Delta t = 41\cdot6\mu V/{}^{\circ}C$। OP_1 OP_2 রেখাদুটি (চিত্র 7.6) থেকে $\Delta e/\Delta t$ এর প্রাপ্ত মান যদি যথাক্রমে 43.0 ও $39.9\mu v/{}^{\circ}c$ হয় তবে তাপতড়িৎক্ষমতার ক্রটি $\frac{1}{2}(43\cdot0 - 39\cdot9)$ বা $1\cdot55\mu V/{}^{\circ}C$ ধরতে পারেন।

(iii) কঠিন পদার্থের গলনাঙ্ক

কেলাসিত পদার্থের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক থাকলেও মোমের মত অকেলাসিত পদার্থের সুনির্দিষ্ট গলনাঙ্ক থাকে না। ধরা যাক আপনি যে পদার্থের গলনাঙ্ক নির্ণয় করেছেন সেটির সুনির্দিষ্ট গলনাঙ্ক আছে।

পদার্থটির গলন বা কঠিনীভবনের সময় আপনি যে প্রশমন দৈর্ঘ্য নির্ণয় করেছেন তার মানে $\Delta\ell$=2mm ক্রটি আছে বলে আমরা আগেই ধরে নিয়েছি। এই ক্রটির ফলে এবং অন্যান্য রাশির পরিমাপে কিছু ক্রটি ঘটায় তড়িচ্চালক বলের মান নির্ণয়ে প্রায় 1.7% আনুমানিক ক্রটি ঘটতে পারে এটিও আপনি আগে দেখেছেন।

ধরা যাক এক্ষেত্রেও $\Delta e_x = \cdot017e_x$

পদার্থের নির্ণেয় গলনাঙ্ক $x^{\circ}C = e_x \div \frac{de}{dt} = \frac{e_x}{P}$

$\therefore$ গলনাঙ্কের নির্ণীত মানে ক্রটি $= \Delta x = x\left(\frac{\Delta e_x}{e_x} + \frac{\Delta P}{P}\right)$

উদাহরণস্বরূপ, $x = 78^{\circ}C, \frac{\Delta e_x}{x} = \cdot0\ 7, \frac{\Delta P}{P} = \frac{1\cdot55}{41\cdot6} = \cdot037$ হলে

$$\Delta x = 78(\cdot017 + \cdot037) \cong 4^{\circ}$$

7.5 মন্তব্য

(i) তাপযুগ্ম ব্যবহার করে তাপতড়িৎক্ষমতা বা পদার্থের গলনাঙ্ক মাপার পরীক্ষায় মোট ত্রুটির একটি বড় অংশ আসে ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল ও উষ্ণসংযোগের উষ্ণতা মাপার ত্রুটি থেকে। এই কারণে ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল সুবেদী ভোল্ট মিটার দিয়ে মাপা উচিত। উষ্ণ সংযোগের উষ্ণতা মাপার থার্মোমিটারটির প্রতি দাগের মাপ $0.1^{\circ}C$ বা $0.2^{\circ}C$ হলে সুবিধা হয়, তবে এটি $0.5^{\circ}C$ হলে চোখের আন্দাজে $0.1^{\circ}C$ পর্যন্ত সূক্ষ্মতায় পাঠ নিতে পারা যায়।

(ii) এই পরীক্ষায় তড়িৎবর্তনীর সংযোগে ত্রুটি থাকায় পরীক্ষার কাজে নানা ধরনের বিঘ্ন ঘটতে পারে। কোন ধরনের বিঘ্ন ঘটলে তার জন্য কোন্ পদক্ষেপ নিতে হবে সেটি আলোচনা করা যাক।

(ক) গ্যালভানোমিটারে অত্যন্ত বেশি পরিমাণ বিক্ষেপ – পোটেনশিওমিটারের চালক বর্তনীতে (চিত্র 7.1) তড়িৎ প্রবাহ কোন কারণে অত্যধিক হয়েছে। রোধ বাক্স R এর রোধ ঠিকমত আছে কিনা দেখুন। গ্যালভানোমিটারের ক্ষতি এড়ানোর জন্য প্রথমে শান্ট রোধ বাক্স S এ কয়েক ওহ্‌ম রোধ রাখুন, পরে প্রশমন বিন্দুর কাছাকাছি পৌঁছে শান্ট এর চাবি K_2 খুলে দিয়ে প্রশমন বিন্দু নির্ণয় করুন।

(খ) গ্যালভানোমিটারে কোন বিক্ষেপ নেই: তাপযুগ্ম -গ্যালভানোমি টার- জকির বর্তনী কোথাও খোলা আছে বা S রোধ শূন্য করা আছে।গ্যালভানোমিটার বর্তনীর সংযোগ ঠিক করুন।

(গ) জকিটি পোটেনশিওমিটারের প্রথম ও শেষ তারে ছোঁয়ালে গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ একই দিকেঃ লক্ষ্য করুন দুই ক্ষেত্রে বিক্ষেপের মান সমান কিনা। যদি বিক্ষেপের মান সমান হয় তবে বুঝতে হবে পোটেনশিওমিটারের চালক বর্তনীতে ছেদ আছে। সেক্ষেত্রে ব্যাটারী বা পাওয়ার সাপ্লাই, রোধ বাক্স R এবং K_1 চাবির সংযোগ পরীক্ষা করুন। যদি বিক্ষেপ প্রথম তারে বেশি, দশম তারে কম হয় তবে সম্ভবত রোধ বাক্স R এ রোধ বেশি আছে। এই রোধ কমালে পোটেনশিওমিটারের উপর বিভবপতন বাড়বে এবং প্রশমন বিন্দু পাওয়া যাবে।

যদি বিক্ষেপ প্রথম তারে কম, দশম তারে বেশি হয় তবে বুঝতে হবে তাপযুগ্ম এবং পোটেনশিওমিটারের উপর বিভব পতন গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে একই দিকে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করছে। এক্ষেত্রে আপনাকে পোটেনশিওমিটারের চালক বর্তনীর ব্যাটারি বা তাপযুগ্মের তামার তারের প্রান্ত, যে কোনও একটির সংযোগ উল্টিয়ে নিতে হবে।

(iii) এই এককে যে পরীক্ষাটির বর্ণনা পেলেন তার দ্বারা আপনি $100^{\circ}C$ এর কম উষ্ণতার গলনাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবেন, কেননা বীকারের জলের উষ্ণতা $100^{\circ}C$ এ সীমাবদ্ধ। বিশুদ্ধ কেলাসিত (cristalline) পদার্থের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক থাকে। এ জাতীয় পদার্থের গলন বা কঠিনভবনের সময় উষ্ণতা স্থির থাকে এবং গলন বা শীতলন রেখায় সম্পূর্ণ অনুভূমিক একটি অংশ পাওয়া যায়। অবিশুদ্ধ বা অকেলাসিত পদার্থের ক্ষেত্রে এটি দেখা যায় না।

7.6 প্রশ্নাবলী

(i) তাপযুগ্মের পরীক্ষাটি সুষ্ঠুভাবে করার জন্য আপনি যে সব পদক্ষেপ নিয়েছেন তার কয়েকটি নিচে দেওয়া হল। এগুলির প্রতিটির কারণ নির্দেশ করুন।

(ক) সংযোগের কাছে কনস্ট্যানট্যান তারটি কাচনলের মধ্য দিয়ে গলানো থাকে।

(খ) সংযোগগুলি সরসরি জলে না ডুবিয়ে প্যারাফিন তেলে ডোবানো থাকে।

(গ) পোটেনশিওমিটারের চালক বর্তনীতে স্টোরেজ ব্যাটারি বা রেগুলেটেড পাওয়ার সাপ্লাই ব্যবহার করেছেন।

(ঘ) পোটেনশিওমিটারের চালক বর্তনীতে এমন রোধ ব্যবহার করেছেন যাতে পোটেনশিওমিটারের তারে $5\mu V/cm$ বিভব পতন ঘটে।

(ঙ) পোস্ট অফিস বক্স দিয়ে পোটেনশিওমিটারের রোধ মাপতে টেব্‌ল গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করেছেন, কিন্তু তাপযুগ্মে র তড়িচ্চালক বল নির্ণয়ে আলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারে ব্যবহার করেছেন।

(ii) ধরা যাক আপনি লক্ষ্য করলেন যে গলন এবং কঠিনীভবনের সময় প্রশমন বিন্দু যে দুই অবস্থানে প্রায় স্থির থাকে সেগুলির মধ্যে বেশ কিছুটা পার্থক্য রয়েছে। কোন্ কোন্ কারণে এই পার্থক্য ঘটতে পারে?

(iii) আপনি আগেই জেনেছেন, তামা-কনস্ট্যানট্যান তাপযুগ্মের শীতল সংযোগ $0°c$ এবং উষ্ণ সংযোগ $t°C$ এ থাকলে তড়িচ্চালক বল হয় $e = 38 \cdot 63t + \cdot 04146t^2$ μV, $0° - 100°C$ পাল্লার মধ্যে এই তাপযুগ্মের তাপতড়িৎক্ষমতা গড় মান থেকে কতটা বিচ্যুত হয়?

সারাংশ

বর্তমান এককটিতে আপনি তাপযুগ্ম ও তার ব্যবহার সম্বন্ধে ব্যবহারিক ধারণা লাভ করেছেন। এই এককে বর্ণিত পরীক্ষার দুটি মূলভাগ হল— (ক) তাপযুগ্মের শীতল সংযোগকে গলন্ত বরফে অর্থাৎ $0°C$ উষ্ণতায় এবং উষ্ণ সংযোগকে পরীক্ষাগারের উষ্ণতা থেকে $100°C$ পর্যন্ত বিভিন্ন উষ্ণতায় (t) রেখে তড়িচ্চালক বল নির্ণয় এবং উষ্ণতা (t)- তড়িচ্চালক বল লেখচিত্র অঙ্কন (খ) কোন কঠিন পদার্থের গলনাঙ্ক (পরীক্ষাগারের উষ্ণতা ও $100°C$ এর মধ্যে) নির্ণয়।

প্রথম অংশটির জন্য আপনি পোস্ট অফিস বক্স দিয়ে একটি দশ তারের পোটেনশিওমিটারের রোধ মেপেছেন এবং পোটেনশিওমিটারের মধ্য দিয়ে এমন তড়িৎপ্রবাহ চালনা করেছেন যাতে সেটির তারের সেন্টিমিটার পিছু $5\mu V$ বিভব পতন ঘটে। সুবেদী গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করে আপনি তাপযুগ্মের তড়িচ্চালক বলকে পোটেনশিওমিটার তারের কিছু দৈর্ঘ্যের উপর বিভব পতনের বিরুদ্ধে রেখে প্রশমিত করেছেন। ঐ দৈর্ঘ্য থেকেই তড়িচ্চালক বলের মান পাওয়া গেছে। বিভিন্ন উষ্ণতায় (t) তড়িচ্চালক বলের (e) মান ব্যবহার করে আপনি e-t লেখচিত্র অঙ্কন করেছেন।

পরীক্ষাটির দ্বিতীয় অংশে কঠিন পদার্থের গলনাঙ্ক নির্ণয় করতে গলন বা কঠিনীভবনের সময় লীনতাপ

গ্রহণ বা বর্জনকালে পদার্থের উষ্ণতা স্থির থাকে—এই ধর্মটি কাজে লাগানো হয়েছে। ঐ সময়ে তাপযুগ্মের তড়িচ্চালক বল মেপে পদার্থের গলনাঙ্ক নির্ণয় করার উপায়টি এখানে বর্ণিত হয়েছে।

মোটের উপর এই এককটি তাপযুগ্মের সীবেক ক্রিয়ার সঙ্গে আপনার প্রত্যক্ষ পরিচয় ঘটানো ছাড়াও পোটেনশিওমিটার গ্যালভানোমিটার, ভোল্টমিটার প্রভৃতি মাপার যন্ত্র ব্যবহারে আপনাকে অভ্যস্ত করেছে।

7.8 উত্তরমালা

(i) (ক) কনস্ট্যানট্যান তারটি যাতে দুটি সংযোগ ছাড়া আর কোথাও তামার তারকে স্পর্শ না করে সেজন্য এর প্রান্তগুলি কাচনলের মধ্যে রাখা হয়।

(খ) সাধারণ জল একটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য (electrolite) এবং তড়িৎপরিবাহী। সংযোগবিন্দু ছাড়া তামা ও কনস্ট্যানট্যান তারের অন্য অংশগুলির মধ্যে যাতে কোন তড়িৎপ্রবাহ না থাকে সে জন্যই সংযোগগুলি অপরিবাহী তেলে ডোবানো থাকে।

(গ) পোটেনশিওমিটারের তারের একক দৈর্ঘ্য পিছু বিভবপতন পরীক্ষা চলাকালীন সম্পূর্ণ স্থির থাকা দরকার। এজন্য পোটেনশিওমিটারে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করতে যে তড়িচ্চালক বল ব্যবহার করবেন সেটিও অপরিবর্তিত থাকা চাই। স্টোরেজ ব্যাটারি এই শর্তটি পালন করে। কোন ইলেকট্রনিক পাওয়ার সাপ্লাই ব্যবহার করলে সেটি রেগুলেটেড হওয়া প্রয়োজন যাতে পরীক্ষাগারে লাইন ভোল্টেজ কমবেশি হলেও তার উৎপন্ন ভোল্টেজ স্থি র থাকে।

(ঘ) তামা কনসট্যানট্যান তাপযুগ্মের শীতল সংযোগ $0°C$ এবং উষ্ণ সংযোগ $100°C$ উষ্ণতায় থাকলে সেটি প্রায় 4mv তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন করে। পোটেনশিওমিটারের তারে $5\mu V$ /cm বিভব পতন থাকলে প্রায় 800 প্রশমন দৈর্ঘ্যে প্রশমন বিন্দু পাওয়া যাবে। এটি 10m এর চেয়ে কম হওয়ায় প্রশমন বিন্দু পেতে অসুবিধা হয় না, আবার দৈর্ঘ্যটি যথেষ্ট বড় হওয়ায় পরিমাপে আনুপাতিক ত্রুটি কম হয়। এছাড়া $5\mu v/cm$ বিভব পতনটি স্থির রাখলে গণনাতেও সুবিধা হয়।

(ঙ) সাধারণ টেবল গ্যালভানোমিটারের সুবেদিতা পোস্ট অফিস বক্স বর্তনীতে ব্যবহারের পক্ষে যথেষ্ট হলেও তাপযুগ্মের তড়িচ্চালক বল নিরূপণের পক্ষে যথেষ্ট নয়। পোটেনসিওমিটারের তারে প্রতি সেন্টিমিটারে যে $5\mu V$ বিভব প্রভেদ থাকে তা $100\,\Omega$ রোধের গ্যালভানোমিটারে $\cdot 05\mu A$ তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করে যা আলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের তড়িৎপ্রবাহ সংবেদশীলতার (figure of merit) সমতুল। এই বিভব প্রভেদ টেবল গ্যালভানোমিটারে ধরা পড়ে না।

(ii) পরীক্ষা চলার মধ্যে পোটেনসিওমিটারে তড়িৎপ্রবাহ পরিবর্তিত হলে অথবা শীতল সংযোগটি পুরোপুরি বরফে আবৃত না থাকার ফলে সেটির উষ্ণতা $0°C$ থেকে বেশি হয়ে গেলে এরূপ পার্থক্য ঘটতে পারে।

(iii) তাপযুগ্মের তাপ তড়িৎক্ষমতা $t°C$ উষ্ণতায় $\frac{de}{dt} = 38\cdot 63 + 0\cdot 08292t\mu V/°C$ এর সর্বনিম্ন মান $0°C$ উষ্ণতায় $38\cdot 63\mu V/°_C$ এবং $100°C$ উষ্ণতায় $46\cdot 92\mu v/°_C$ তাপতড়িৎক্ষমতার গড় মান $42.78\mu v/°c$। সর্বনিম্ন এবং সর্বোচ্চ মানগুলি এই গড় মান থেকে প্রায় 10% কমবেশি।

একক ৪ ☐ বার দোলকের পরীক্ষা ঃ ভারকেন্দ্র থেকে লম্বনবিন্দুর দূরত্বের সঙ্গে দোলনকালের পরিবর্তন

8.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

8.2 বার দোলকের ভারকেন্দ্র থেকে দোলন অক্ষের দূরত্বের সঙ্গে দোলনকালের সম্পর্ক

8.3 বার দোলকের পরীক্ষা

8.3.1 পরীক্ষার জন্য প্রয়োজনীয় ব্যবস্থা ও যন্ত্রপাতি

8.3.2 পরীক্ষা পদ্ধতি

8.3.3 পরীক্ষালব্ধ ফলের বিশ্লেষণ ও g- এর মান নির্ণয়

8.4 পরীক্ষায় বিভিন্ন ত্রুটির দিক সম্বন্ধে আলোচনা

8.5 প্রশ্নাবলী

8.6 সারাংশ

8.7 উত্তরমালা

8.1 প্রস্তাবনা

আপনি হয়ত ইতিপূর্বে সরল দোলকের দোলনকাল সংক্রান্ত বিভিন্ন পরীক্ষা করেছেন। সেখানে আপনি দেখেছেন কিভাবে এই দোলনকাল দোলকের দৈর্ঘ্য, দোলনের কৌণিক বিস্তার, পিণ্ডের ভর ইত্যাদির ওপর নির্ভর করে। এই পরীক্ষার উপাত্ত থেকে আপনি অভিকর্ষজ ত্বরণের মান নির্ণয় করেছেন।

কিন্তু ভেবে দেখুন যে সরল দোলক হিসাবে যে ব্যবস্থাটি আপনি পরীক্ষায় ব্যবহার করেছেন তা সরল দোলকের সমস্ত শর্ত পূরণ করতে পারছে কি? এর উত্তর হ'ল "না"। এর কারণ হ'ল ঃ—

(i) সরল দোলকের জন্য দরকার ভরহীন, পুরোপুরি অপ্রসার্য ও নমনীয় তার বা সুতো। কিন্তু বাস্তব ক্ষেত্রে সব সুতো বা তারেরই ভর আছে এবং সেগুলি কিছু মাত্রায় প্রসার্য।

(ii) দোলনশীল 'বব' বা পিণ্ডটি বিন্দুসম বস্তু হওয়া দরকার কিন্তু বাস্তবে আমরা একটি ক্ষুদ্র ব্যাসার্ধের ধাতুর গোলক ব্যবহার করি। অতএব, মূল কথাটি হ'ল যে বাস্তবে আদর্শ সরল দোলক গঠন করা সম্ভব নয়। কিন্তু তাহলে আমরা সরল দোলকের পরীক্ষা করি কেন? এর কারণ হ'ল এই যে, এই পরীক্ষা ব্যবস্থা ও বিশ্লেষণ অনেক সরল এবং এই কারণে আমরা সরল দোলকের পরীক্ষা ব্যবস্থাকে যথাসম্ভব 'আদর্শ' সরল দোলক-এর কাছাকাছি নিয়ে যাওয়ার চেষ্টা করি।

বাস্তবক্ষেত্রে আমরা যে সব দোলকের সঙ্গে পরিচিত (যেমন, দোলন ঘড়ি), তাদের প্রত্যেকেরই নির্দিষ্ট সসীম ভর ও আয়তন আছে। অনুভূমিক অক্ষের সাপেক্ষে দুলতে পারে এমন কোন দৃঢ়বস্তুকে যদি দোলক হিসাবে ব্যবহার করি, তাকে যৌগিক দোলক বলা হয়। ক্ষুদ্র কৌণিক বিস্তারের ক্ষেত্রে এই যৌগিক দোলকও সরল

দোলগতি সম্পন্ন করে। এই দোলকের দোলনকাল তার ভারকেন্দ্র থেকে দোলন অক্ষের দূরত্বের ওপর নির্ভরশীল। এই সম্পর্ক অনুশীলন ও বিশ্লেষণ করতে পারলে আপনি যৌগিক দৃঢ়বস্তু দোলকটির কিছু বৈশিষ্ট্য দেখাতে পারবেন এবং সেইসঙ্গে g- এর মানও নির্ণয় করতে পারবেন।

আমরা এই পরীক্ষায় যৌগিক দোলক হিসাবে একটি বার দোলক (একটি আয়তাকার লোহা বা পিতলের লম্বা দণ্ড) ব্যবহার করব।

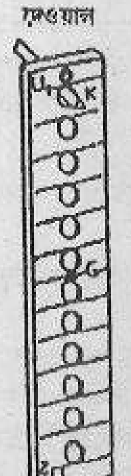
উদ্দেশ্য

এই এককটি পড়বার পরে ও পরীক্ষাটি করে দেখার পরে আপনি নিম্নোক্ত বিষয়গুলি সম্বন্ধে জানতে পারবেন ও দক্ষতা অর্জন করতে পারবেন।

- আপনি স্টপ ওয়াচ-এর ব্যবহারে অভ্যস্ত হবেন ও এর সাহায্যে বার দোলকের দোলনকাল নির্ণয় করতে পারবেন। পর্যাবৃত্তভাবে দোলনশীল অন্য যে কোন দৃঢ়বস্তুর দোলনকালও নির্ণয় করতে পারবেন।
- ভারকেন্দ্র থেকে দোলন অক্ষের দূরত্বের ওপর কিভাবে বার দোলকের দোলনকাল নির্ভর করে তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কোন বার দোলককে তুল্যমানের সরল দোলকে রূপান্তরিত করলে তার দৈর্ঘ্য কত হবে তা নির্ণয় করতে পারবেন।
- বার দোলকের ভারকেন্দ্রের মধ্যে দিয়ে যাওয়া অনুভূমিক অক্ষের সাপেক্ষে ঐ দোলকের ঘূর্ণন ব্যাসার্ধ (radius of gyration) নির্ণয় করতে পারবেন।
- পরীক্ষালব্ধ ফল বিশ্লেষণ করে লেখচিত্রের সাহায্যে g- এর মান নির্ণয় করতে পারবেন।

8.2 বার দোলকের ভারকেন্দ্র থেকে দোলন অক্ষের দূরত্বের সঙ্গে দোলনকালের সম্পর্ক

EPHO3 পাঠক্রমের প্রথম পর্যায়ে আপনি যৌগিক দোলক সম্বন্ধে যা পড়েছেন, প্রথমে তার সারাংশটি আলোচনা করা যাক। বার দোলক যৌগিক দোলকেরই একটি রূপ।



চিত্র 8.1

8.1 চিত্রে একটি বার দোলককে দেখানো হয়েছে। G এর ভারকেন্দ্র। এর দোলন অক্ষটি অনুভূমিক ও চিত্রের তলের অভিলম্বে 'O' বিন্দুর মধ্য দিয়ে গিয়েছে। 'O' বিন্দুকে লম্বন কেন্দ্র (centre of suspension) বলা হয়। O থেকে ভারকেন্দ্র G-র দূরত্ব $= OG = \ell$। দোলকটি না দুললে OG রেখাটি উলম্ব থাকে।

বার দোলকটিকে অনুভূমিক অক্ষের সাপেক্ষে উল্লম্বতলে অল্প কৌণিক বিস্তারে দুলতে দিলে এর দোলগতি সরল দোলগতি হয় এবং দোলকের দোলনকাল হয় ঃ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell + \frac{k^2}{\ell}}{g}} \qquad \text{.......8.1}$$

যেখানে

ℓ = বার দোলকের ভারকেন্দ্র থেকে লম্বন কেন্দ্রের দূরত্ব

U_1U_2 পিতল বা লোহার দণ্ড (বার দোলক)

K ক্ষুরধার (knife-edge)

k = দোলনের অনুভূমিক অক্ষের সমান্তরাল ও ভরকেন্দ্রগামী অক্ষের সাপেক্ষে বার দোলকটির ঘূর্ণন বা চক্রগতির ব্যাসার্ধ (radius of gyration)

g = ঐ স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণ

8.1 সমীকরণ থেকে বার দোলকের দোলনকালের বৈশিষ্ট্য লক্ষ্য করা যাবে।

ধরা যাক, ভারকেন্দ্র থেকে লম্বন কেন্দ্রের দূরত্বের মান $\ell = \ell_1$ এর জন্য দোলনকাল $T = T_1$ অর্থাৎ

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_1 + k^2/\ell_1}{g}} \qquad \text{.......8.2}$$

আবার, আর একটি দূরত্ব $\ell = \ell_2$ এর জন্য দোলনকাল হবে

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_2 + k^2/\ell_2}{g}} \qquad \text{.......8.3}$$

এখন যদি $\ell_2 = \frac{k^2}{\ell_1}$ হয় তাহলে

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_2 + k^2/\ell_2}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{(k^2/\ell_1) + \ell_1}{g}} = T_1$$

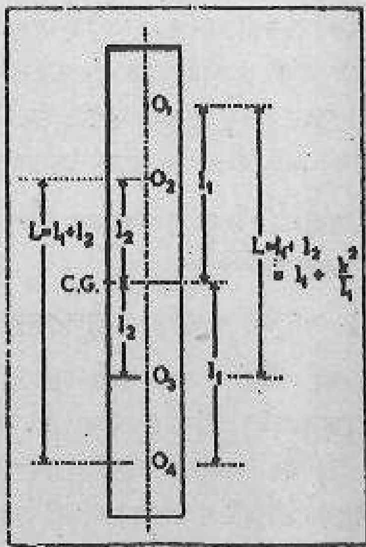
সুতরাং OG -র (ℓ-এর) দুটি মানে (ℓ_1 ও ℓ_2 তে, যেখানে $\ell_2 = k^2/\ell_1$) T - এর মান একই হয়। এখন, দোলন অক্ষকে আপনি ভারকেন্দ্র G-এর যে কোন পাশে নিতে পারেন। সুতরাং G-এর দুপাশে দুটি দুটি করে এমন চারটি বিন্দু O_1, O_2, O_3, O_4 (চিত্র 8.2) পাওয়া যাবে যাদের যে কোন একটিকে লম্বন বিন্দু করলে দোলকের দোলনকাল একই হবে। কিন্তু এই চারটি বিন্দুর সবকটি বার দোলকের মধ্যে অবস্থিত নাও হতে পারে।

(8.1) সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে $\ell = O$ হলে $T = \infty$ হবে। আবার $\ell = \infty$ (অর্থাৎ ℓ খুব বেশি) হলেও $T = \infty$ হবে। তাহলে ℓ খুব ছোট বা খুব বড় হলে T অনেক বড় হবে। সুতরাং, মাঝামাঝি কোন ℓ এর মান এর জন্য T সর্বনিম্ন হবে। T- এর এই সর্বনিম্ন মান পাওয়া যাবে যে ℓ-এর মানের জন্য তা জানা যাবে $\frac{dT}{d\ell} = 0$ সমীকরণটির সমাধান করে।

এর থেকে আমরা পাই $\ell = k$ অর্থাৎ যখন ভারকেন্দ্র থেকে লম্বন কেন্দ্রের দূরত্ব $= k$ হবে তখনই দোলনকাল সর্বনিম্ন হবে এবং এই সর্বনিম্ন দোলনকালের মান,

$$T_m = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{k^2}{\ell} + \ell}{g}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{\frac{k^2}{k} + k}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{2k}{g}} \qquad \text{........8.4}$$



চিত্র 8.2

আবার (8.1) সমীকরণকে $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ রূপেও লেখা যায় যেখানে $L = \ell + \frac{k^2}{\ell}$ । এর অর্থ হল যে L দৈর্ঘ্যের সরল দোলকের দোলনকাল ও প্রদত্ত বার দোলকের দোলনকাল তখনই সমান হবে যখন বার দোলকটির লম্বন কেন্দ্র থেকে তার ভারকেন্দ্রের দূরত্ব 'ℓ' হবে। এই সরল দোলকটিকে আমরা ঐ বার দোলকের তুল্য সরল দোলক বলি ।

সুতরাং, L দৈর্ঘ্যের একটি সরল দোলক তৈরী করে তার দোলনকাল T^1 নির্ণয় করলে যদি সেটি কোন ℓ এর মানের জন্য প্রদত্ত বার দোলকের দোলনকালের সমান হয় তাহলে লেখা যায় যে

$$L = \ell + \frac{k^2}{\ell}$$

অথবা, $$k = \sqrt{\ell(L-\ell)} \qquad ....8.5$$

8.3 বার দোলকের পরীক্ষা

বার দোলকের পরীক্ষার মূলতত্ত্বটি আপনি জেনে নিয়েছেন। এবার পরীক্ষার জন্য প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতির বিন্যাস ও পরীক্ষার পদ্ধতি আলোচনা করা যাক।

8.3.1 পরীক্ষার জন্য প্রয়োজনীয় ব্যবস্থা ও যন্ত্রপাতি

বার দোলক হিসেবে 1.0-1.5m দীর্ঘ, 2-3cm প্রস্থ ও ~ 5mm বেধের পিতল বা লোহার একটি সুষম দণ্ডকে ব্যবহার করা হয়। এই দণ্ডের একপ্রান্ত থেকে অন্যপ্রান্ত অবধি সমান ব্যবধানে (মোটামুটি 7-8cm অন্তরে) অনেকগুলি গোলাকার ছিদ্র থাকে। বার বা দণ্ডটির ভারকেন্দ্র দিয়ে এবং সব ছিদ্রগুলির স্পার্শকভাবে প্রস্থ বরাবর দাগ কাটা থাকে যাতে ভারকেন্দ্র থেকে লম্বন বিন্দুর দূরত্ব সহজে নির্ণয় করা যায়। (চিত্র 8.1)।

ঘরের উল্লম্ব দেওয়ালে একটি ক্ষুরধার (knife-edge) অনুভূমিকভাবে আটকাতে হবে যাতে ঐ ক্ষুরধারটিকে দোলকের ছিদ্রগুলির যে কোনটির মধ্যে ঢুকিয়ে দোলকটিকে মুক্তভাবে আলম্বিত করা যায়। ক্ষুরধারটি এমন হতে হবে যে বারটি ঝোলালে ক্ষুরধার এর উপরের প্রান্ত ছাড়া বাকি কোন অংশ যেন দোলনের সময় বারকে স্পর্শ না করে। তুল্য সরল দোলক গঠনের জন্য লাগবে একটি স্ট্যান্ড, সুতো, হুক সমেত একটি পিতল বা লোহার ক্ষুদ্র গোলক। এই গোলক বা ববের ব্যাসার্ধ মাপার জন্য লাগবে স্লাইড ক্যালিপার্স ।

সর্বক্ষেত্রে দৈর্ঘ্য মাপার জন্য লাগবে মিটার স্কেল এবং দোলনকাল নির্ণয়ে সময় মাপার জন্য লাগবে একটি স্টপ ওয়াচ বা স্টপ ক্লক।

8.3.2 পরীক্ষা পদ্ধতি পরীক্ষালব্ধ ফল উপাত্ত সারণি

এই পরীক্ষার প্রধান কাজ হবে বার দোলকের ভারকেন্দ্র থেকে লম্বন বিন্দুর দূরত্বের (ℓ)বিভিন্ন মানের জন্য দোলনকাল (T) নির্ণয় করা। এর জন্য নিম্নলিখিত পদক্ষেপগুলি অনুসরণ করুন —

(i) বার দোলকের দণ্ডটি ক্ষুরধারের উপর আড়াআড়ি অবস্থায় এমনভাবে রাখুন যাতে দণ্ডটি অনুভূমিক অবস্থানে মোটামুটি সাম্যে থাকে। এই অবস্থায় দণ্ডের ভারকেন্দ্র ক্ষুরধারের ঠিক উপরে থাকবে। ক্ষুরধারটি যেখানে আছে ঠিক সেখানে পেনসিলের দাগ বা ছুরির আঁচড় দিয়ে ভার কেন্দ্রের অবস্থান চিহ্নিত করুন। দণ্ডটিতে যদি আগে থেকেই ভারকেন্দ্রের অবস্থান নির্দেশক চিহ্ন দেওয়া থাকে, তাহলেও আপনি সেই চিহ্নটিকে ক্ষুরধারের

উপর রেখে দেখে নিন সেটি ভারকেন্দ্রের অবস্থান সঠিকভাবে নির্দেশ করছে কিনা।

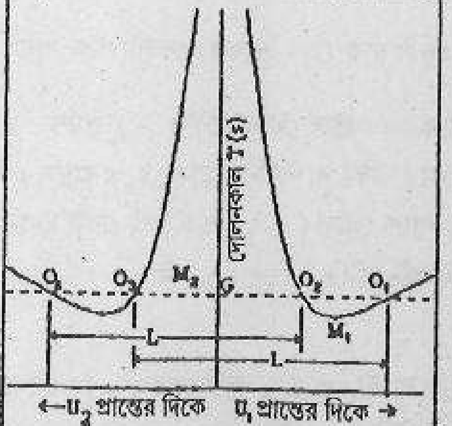
(ii) ভারকেন্দ্রের দুই প্রান্তকে 1 ও 2 লিখে চিহ্নিত করুন। ভারকেন্দ্রের রেখা থেকে দুই প্রান্তের দূরত্ব মিটার স্কেলের সাহায্যে মাপুন এবং সারণি 1এ লিপিবদ্ধ করুন। এই দুই দূরত্বের যোগফল দণ্ডের মোট দৈর্ঘ্যের সমান হবে।

(iii) এবারে, যে কোন একটি প্রান্তের (ধরা যাক U_1 - প্রান্তের) সব থেকে কাছের ছিদ্রের ভেতরে ক্ষুরধারটি ঢুকিয়ে বারটিকে ঝুলিয়ে দিন। বারটি এখন উলম্ব অবস্থায় থাকবে। এই ছিদ্রের উপরের প্রান্ত থেকে ভারকেন্দ্রের দূরত্ব $(= \ell)$ মিটার স্কেল দিয়ে মেপে নিন।

বারটিকে এবারে যে কোন একদিকে টেনে ছেড়ে দিন। তবে এই সময় লক্ষ্য রাখতে হবে যে, কৌণিব বিস্তার যেন $10-15°$ র মধ্যে থাকে এবং বারের সমগ্র বেধটি ক্ষুরধারের সংস্পর্শে থাকে। বারটি এখন উলম্বতলে দুলতে থাকবে। বারটি দোলনের সময় একপ্রান্তে এলে স্টপ ওয়াচ চালু করুন। অপর প্রান্ত ঘুরে বারটি আবার যখন একই প্রান্তে আসবে তখন একটি পূর্ণ দোলন হবে। এইভাবে 30 টি পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করার পরই স্টপ ওয়াচ বন্ধ করুন। তাহলে 30টি পূর্ণ দোলনের সময়কাল পাওয়া যাবে। 30টি পূর্ণ দোলনের সময় অন্তত পক্ষে 3 বার নির্ণয় করুন। এবারে 30টি পূর্ণ দোলনের জন্য গড় সময় নির্ণয় করুন। এই গড় সময়কে 30 দিয়ে ভাগ করলেই দোলনকাল (T) পাওয়া যাবে। আপনার পরীক্ষালব্ধ ফলগুলি 2 নং সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন।

(iv) U_1 দিকের প্রতিটি ছিদ্রে ক্ষুরধার ঢুকিয়ে আগের মত ℓ এবং তার জন্য দোলনকাল T নির্ণয় করুন এবং পরীক্ষালব্ধ ফলগুলি সারণি 2 - তে লিপিবদ্ধ করুন।

এই পরীক্ষা করার সময় আপনি লক্ষ্য করবেন যে একপ্রান্ত থেকে শুরু করে যখন আপনি লম্বন কেন্দ্রটি ক্রমশ ভারকেন্দ্রের দিকে নিয়ে আসছেন অর্থাৎ ℓ-এর মান কমাচ্ছেন, তখন ক্রমশ দোলনকাল (T) এর মান কমতে থাকবে, এক সময় সর্বনিম্ন হবে এবং তারপরে আবার বৃদ্ধি পাবে। ভারকেন্দ্রের সব থেকে কাছের ছিদ্রটির ক্ষেত্রে দোলনকাল খুব বেশি হবে।



চিত্র 8.3 বার দোলকের ভারকেন্দ্র থেকে লম্বন কেন্দ্রের দূরত্বের উপর দোলনকালের নির্ভরশীলতা

(v) U_1 - প্রান্তের ছিদ্রগুলি ব্যবহার করা হয়ে গেলে, বারটি উল্টে নিন। এবার U_2 প্রান্তের ছিদ্রগুলির প্রত্যেকটির ক্ষেত্রে আগের মত ℓ ও T নির্ণয় করুন ও সারণি 2-তে লিপিবদ্ধ করুন।

এবারে, আমরা সরল দোলকের পরীক্ষাটি করব।

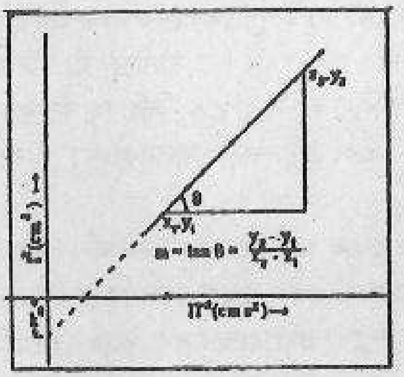
(i) প্রথমে, একটি স্ট্যান্ড থেকে সুতো দিয়ে ক্ষুদ্র ব্যাসার্ধের ধাতব দোলক বা বব (bob) ঝুলিয়ে একটি সরল দোলক তৈরি করুন। স্ট্যান্ডে সুতোটি এমনভাবে আটকানো থাকবে যাতে দোলকটি দুললেও আলম্বন বিন্দুটি অনড় থাকে। এই সরল দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য (L) মাপার জন্য এখন 3 নং সারণি অনুসারে স্লাইড ক্যালিপার্সের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করুন। এরপরে এর সাহায্যে মূল স্কেল ও ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ নিয়ে ববটির ব্যাস নির্ণয় করুন ও সারণি 4- এ লিপিবদ্ধ করুন। ববটি ঝোলানো অবস্থায় আলম্বন বিন্দু

থেকে ববের নিচের প্রান্ত পর্যন্ত দৈর্ঘ্য মিটার স্কেল দিয়ে মাপুন। এই দৈর্ঘ্য থেকে ববের ব্যাসার্ধ বিয়োগ করলে সরল দোলকটির দৈর্ঘ্য পাওয়া যাবে।

(দৈর্ঘ্যটি মাপার সহজ উপায় ববের তলায় সেটিকে ঠিক স্পর্শ করে এমন কোন কাঠের ব্লক বা অন্য সমতল বস্তু অনুভূমিকভাবে রেখে মিটার স্কেলটি তার উপর উলম্ব ভাবে রেখে আলম্বন বিন্দুর অবস্থানের পাঠ নেওয়া। দৈর্ঘ্য 1 মিটারের অধিক হলে পর পর দুটি মিটার স্কেল উলম্বভাবে রাখতে হবে।)

(ii) 60cm থেকে 140cm এর মধ্যে মোটামুটি 15-20cm অন্তর বিভিন্ন কার্যকর দৈর্ঘ্য (L)-এর জন্য সরল দোলকের দোলনকাল (T) স্টপ ওয়াচের সাহায্যে নির্ণয় করুন। প্রতিটি ক্ষেত্রে 30 বার পূর্ণ দোলনের জন্য সময় বার করে 30 দিয়ে ভাগ করলে T নির্ণীত হবে। আপনার পরীক্ষার ফলগুলি 5 নং সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন।

8.3.3 পরীক্ষালব্ধ ফলের বিশ্লেষণ ও g- এর মান নির্ণয়



চিত্র 8.4 বার দোলকের $\ell^2 - \ell T^2$ লেখচিত্র।

এই লেখচিত্রের নতিমাত্রা $m = \tan\theta = \frac{g^2}{4\pi^2}$ এবং

y- অক্ষে ছেদিতাংশের মান $= k^2$

(i) দণ্ডের ভারকেন্দ্র থেকে ক্ষুরধারের দূরত্ব (ℓ)-কে ভুজ (X-অক্ষ) এবং ঐ দূরত্বের জন্য দোলনকাল T কে কোটি (Y -অক্ষ) ধরে সারণি 2- এর পরীক্ষালব্ধ ফল থেকে একটি লেখচিত্র আঁকুন। ভারকেন্দ্রের থেকে এক দিকের (ধরা যাক U_1 দিকের) ℓ দূরত্বগুলিকে পজিটিভ x এবং অন্যদিকের (U_2 দিকের) ℓ দূরত্বগুলিকে নেগেটিভ x ধরে নিন। এতে আপনি 8.3 নং চিত্রের মত একটি লেখচিত্র পাবেন। এখানে যে কোন একটি দিকের জন্য (ধরা যাক U_1- দিকের) দোলন অক্ষ বার দোলকের একপ্রান্ত থেকে (বেশি ℓ) ক্রমশ ভারকেন্দ্রের দিকে আসতে থাকলে (কম ℓ) দোলনকাল প্রথমে কমে অবম বা সর্বনিম্ন মান M_1 এ আসে এবং পরে বাড়তে থাকে। দোলন অক্ষ ও লম্বনকেন্দ্র ভারকেন্দ্রের অন্য পাশে গেলে (U_2-দিকে) এই একই ধরনের পরিবর্তন (variation) হয়। U_1 দিকের $\ell - T$ লেখকে Y- অক্ষে প্রতিফলিত করলে U_2 -দিকের $\ell - T$ লেখ পাওয়া যায়।

লেখচিত্রের উপর x -অক্ষের সমান্তরাল একটি রেখা টানুন যা U_1 ও U_2- দু'দিকের $\ell - T$ লেখকে চারটি বিন্দু O_1, O_2, O_3, O_4 -এ এবং Y -অক্ষকে G বিন্দুতে ছেদ করে। তাহলে আমরা বলতে পারি যে

$GO_1 = GO_4 = \ell_1$ এবং $GO_2 = GO_3 = \ell_2$ যেখানে $\ell_2 = \frac{k^2}{\ell_1}$ এবং

$O_1O_3 = O_2O_4 = \ell_1 + \ell_2 = \ell_1 + \frac{k^2}{\ell_1} = L$ (তুল্য সরল দোলকের দৈর্ঘ্য)। এটাও বলা যায় যে

$M_1M_2 = 2K$ = সর্বনিম্ন দোলনকালের জন্য তুল্য সরলদোলকের দৈর্ঘ্য [সমীকরণ 8.4] । স্কেলের সাহায্যে O_1O_3 ও O_2O_4 দৈর্ঘ্যগুলিকে মেপে নিন ও তাদের গড় নির্ণয় করুন। তাহলে L পাওয়া যাবে। $O_1 O_4$ রেখাটি Y- অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করেছে সেই বিন্দুর T- এর মান লিপিবদ্ধ করুন এবং $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ বা $g = 4\pi^2\frac{L}{T^2}$ সমীকরণ থেকে g- এর মান নির্ণয় করুন (সারণি -6)

(ii) 8.1 সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell^2+k^2}{\ell g}}$$

বা $$\ell^2+k^2 = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right)\ell T^2$$

বা $$\ell^2 = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right)(\ell T^2) - k^2 \qquad ......(8.6)$$

ওপরের সমীকরণ 8.6 থেকে দেখা যায় যদি Y- অক্ষ বরাবর ℓ^2 এবং X- অক্ষ বরাবর (ℓT^2) আঁকা যায় তাহলে লেখচিত্রটি (চিত্র 8.4) একটি সরলরেখা হবে। এর নতিমাত্রা (slope) হবে $m = \frac{g^2}{4\pi^2}$ এবং এটি বর্ধিত করলে ঋণাত্মক Y- অক্ষে মূলবিন্দু থেকে k^2 দূরত্বে ছেদ করবে অর্থাৎ ছেদিতাংশ (intercept) $= -k^2$

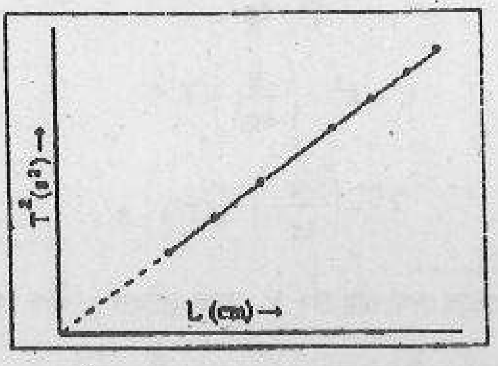
লেখচিত্রটি অঙ্কনের জন্য সারণি হতে ℓ^2 ও ℓT^2 -এর মানগুলি লিখুন এবং লেখচিত্রে $\ell^2 - \ell T^2$ বিন্দুগুলি বসিয়ে সেগুলির মধ্য দিয়ে সবচেয়ে মানানসই সরলরেখাটি অঙ্কন করুন। এর নতিমাত্রা বার করার জন্য অনেকটা দূরত্বে আছে এমন দুটি বিন্দু (x_1, y_1) এবং (x_2, y_2) নিন এবং নতিমাত্রা $m = \frac{y_2 - y_1}{x^2 - x_1}$ নির্ণয় করুন। এবার $m = \frac{g^2}{4\pi^2}$ সমীকরণের সাহায্যে g- এর মান নির্ণয় করুন। Y- অক্ষে ছেদিতাংশের মান থেকে k^2 এবং এর বর্গমূল , k নির্ণয় করুন। এই সমস্ত ফলগুলি সারণি 7 -এ লিপিবদ্ধ করুন।

(iii) আপনি $\ell^2 - \ell T^2$ লেখচিত্র থেকে ঘূর্ণনব্যাসার্ধ (k) নির্ণয় করেছেন। এখন আপনি আর একভাবে সরল দোলকের পরীক্ষালব্ধ ফলগুলি থেকে k নির্ণয় করতে পারেন।

এর জন্য প্রথমে সারণি 5 থেকে পরীক্ষালব্ধ ফলগুলি নিয়ে $L - T^2$ (অর্থাৎ x অক্ষে L এবং y অক্ষে T^2) লেখচিত্র অঙ্কন করুন। এই লেখচিত্রটি মূলবিন্দুর মধ্যে দিয়ে যাওয়া একটি সরলরেখা হবে (চিত্র 8.5)। এবারে সারণি 2 থেকে T- এর একটি মান বেছে নিন এবং T এর ঐ মানের জন্য সারণি 2 থেকে ℓ এর মান দেখে নিন। একই T এর মানের জন্য সরল দোলকের $T^2 - L$ লেখচিত্র থেকে L এর মান নির্ণয় করুন। সুতরাং এই ℓ এর জন্য তুল্য সরল দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য- L ।তাহলে 8.5 সমীকরণ থেকে আমরা লিখতে পারি $k = \sqrt{\ell(L-\ell)}$ ℓ, L এর মান বসিয়ে k- এর মান নির্ণয় করুন ও (সারণি -8)।

এইভাবে T- এর আরও দুটি মানের জন্য k নির্ণয় করুন এবং তিনটি k এর মান থেকে গড় k নির্ণয় করুন। এবার ঘূর্ণন ব্যাসার্ধের এই মানের সঙ্গে $\ell^2 - \ell T^2$ লেখচিত্র থেকে প্রাপ্ত k-এর মানের তুলনা করুন। দুইভাবে প্রাপ্ত k- এর মান কাছাকাছি হবে।

(iv) আপনার নির্ণীত g -এর মান (সারণি-6) স্থানীয় মান থেকে কতটা পৃথক সেটি নির্ণয় করুন এবং মন্তব্যে লিখুন। সারণি 7 - এবং 8 এ ঘূর্ণন ব্যাসার্ধের যে দুটি মান পেয়েছেন সেগুলির মধ্যে পার্থক্য কত শতাংশ সেটিও মন্তব্যে উল্লেখ করুন।



চিত্র 8.5 সরল দোলকের $L - T^2$ লেখচিত্র

সারণি ঃ I_g ভারকেন্দ্রের অবস্থান

ভারকেন্দ্রের দাগ থেকে

U_1- প্রান্তের দৈর্ঘ্য	U_2- প্রান্তের দৈর্ঘ্য	বার দোলকের মোট দৈর্ঘ্য
x_1 (cm)	x_2 (cm)	$= \ell_o$ $= x_1 + x_2 (cm)$

সারণি ঃ 2 ভারকেন্দ্র থেকে লম্বন কেন্দ্রের (ছিদ্রের উপরের প্রান্তের) দূরত্ব (ℓ) এবং ঐ দূরত্বের জন্য দোলনকালের পাঠ

স্টপ ওয়াচের ক্ষুদ্রতম ঘরের পাঠ = ... সেকেন্ড

দোলকাল নির্ণয়ের জন্য পূর্ণ দোলন সংখ্যা (N) = ...

দোলকের প্রান্ত	প্রান্ত থেকে ছিদ্রের ক্রমিক সংখ্যা	ভারকেন্দ্র থেকে লম্বন কেন্দ্রের দূরত্ব ℓ (cm)	30 টি পূর্ণ দোলনের সময়কাল	30 টি পূর্ণ দোলনের গড় সময়কাল t (s)	দোলনকাল $T = t/30$ (s)	ℓ^2 cm^2	ℓT^2 $cm\text{-}s^2$
U_1	1	....	i)........ ii)....... iii).......	....	.....	.....	......
	2	....	i) .... ii) ...... iii)	....	.....	.....	......
	. . .		. . . .	. . . .			
U_2	1	....	i) ...... ii) .... iii)	....	.....	.....	......
	2	....	i) .... ii) .... iii).......	....	.....	.....	......
	. . .						

সারণিঃ -3 স্লাইড ক্যালিপার্সের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয়

1 টি মূল স্কেলের ঘরের মান = ...cm (x)
ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের মোট সংখ্যা = ...(n)
...............(n) টি ভার্নিয়ার ঘর ....(m) টি মূল স্কেল ঘরের সাথে মেলে
1 টি ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের মান = $\frac{m}{n} \times$ মূল স্কেলের ঘরের মান
ভার্নিয়ার ধ্রুবক = 1 টি মূল স্কেল ঘরের মান — 1 টি ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের মান $= \left(1-\frac{m}{n}\right) \times$ মূল স্কেল ঘরের মান $= \left(1-\frac{m}{n}\right) \times$ cm

সারণি 4 স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে ববের ব্যাসার্ধ নির্ণয়

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূল স্কেল পাঠ,M (cm)	ভার্নিয়ার পাঠ ,V	মোট পাঠ অর্থাৎ ববের ব্যাস(cm) M+V× ভার্নিয়ার ধ্রুবক	ববের গড় ব্যাস,d (cm)	ববের ব্যাসার্ধ $r = \frac{d}{2}(cm)$
1	....	....	....		
2	....	....	....	......	.....
3	....	....	....		

সারণি 5 ঃ সরল দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য (L) ও দোলনকাল (T) নির্ণয়

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ববের নিম্নপ্রান্ত থেকে আলম্বন বিন্দুর উচ্চতা, X (cm)	সরল দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য $L = X - r$ (cm)	30 টি পূর্ণ দোলনের সময় (s)	30টি পূর্ণ দোলনের গড় সময়, t (s)	দোলনকাল $T = \frac{t}{30}$ (s)	T^2 (s^2)
1	......	.....	i)...... ii)..... iii)....			
2						
3						
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	.

সারণি 6 ঃ বার দোলকের $\ell - T$ লেখচিত্র থেকে g- এর মান নির্ণয়

দোলনকাল (T) (sec)	O_1O_3 র মান = কার্যকর দৈর্ঘ্য (cm)	O_2O_4 - এর মান = কার্যকর দৈর্ঘ্য (cm)	কার্যকর দৈর্ঘ্যের গড় মান (L) $= \frac{O_1O_3 + O_2O_4}{2}$	g $\left(= 4\pi^2 \frac{L}{T^2}\right)$ (cm/sec^2)

সারণি 7 ঃ বার দোলকের $\ell^2 - \ell T^2$ লেখচিত্র থেকে g- এর মান ও ঘূর্ণনগতির (k) ব্যাসার্ধ নির্ণয়

$\ell T^2 - \ell^2$ লেখচিত্রের দুই বিন্দুর স্থানাঙ্ক				$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (cm.s^{-2})$	উলম্ব অক্ষে ছেদিতাংশ, k^2 $(cm)^2$	$g = 4\pi^2 m$ (cms^{-2})	k (cm)
x_1 $cm.s^2$	y_1 cm^2	x_2 $cm \cdot s^2$	y_2 cm^2				

সারণি 8 ঃ বার দোলক ও সরল দোলকের তুলনা থেকে k- এর মান নির্ণয়

বার দোলকের Ë ô . ±ù(T)δ (S)	বার দোলকের এই দোলনকালের জন্য ℓ এর মান (cm)	$L - T^2$ লেখচিত্র থেকে T দোলনকালের জন্য সরল দোলকের দৈর্ঘ্য (L) (cm)	ঘূর্ণন ব্যাসার্ধ = k $= \sqrt{\ell(L - \ell)}$ (cm)	গড় k (cm)
i)				
ii)				
iii)				

মন্তব্য ঃ

8.4 পরীক্ষায় বিভিন্ন ত্রুটির দিক সম্বন্ধে আলোচনা

i) পরীক্ষা পদ্ধতি বর্ণনার সময়ে বলা হয়েছে কৌণিক বিস্তার যেন $10-15^\circ$ এর মধ্যে থাকে। এটির যুক্তি কি? এখন আমরা এটি বোঝার চেষ্টা করব।

যখন বার দোলকটি দুলতে থাকে তখন কৌণিক সরণ θ হ'লে দোলকের গতির সমীকরণ হয়—

$$\frac{d^2\theta}{dt^2}+\left(\frac{g\ell}{k^2+\ell^2}\right)\sin\theta=0 \qquad ......8.7$$

θ খুব ছোট হ'লে ধরে নেওয়া যায় $\sin\theta\approx\theta$ এবং এ ক্ষেত্রে 8.7 সমীকরণটি হয়

$$\frac{d^2\theta}{dt^2}+w^2\theta=0, \quad \text{যেখানে } w^2=\frac{g\ell}{k^2+\ell^2}$$

এর সমাধান $\theta=\theta_m\sin(wt+\alpha)$ [θ_m = দোলকের কৌণিক বিস্তার, α = ধ্রুবক] থেকে দোলনকালের 8.1 সূত্রটি পাওয়া যায়।

যদি θ বড় হয়, তাহলে দেখান যায় যে θ_m কৌণিক বিস্তারের জন্য দোলনকাল হয়

$$T\cong T_o\left(1+\frac{\theta_m^2}{16}\right) \qquad ......8.8$$

(i) এখানে $T_o=\theta\to 0$ সীমায় দোলনকাল, $2\pi\sqrt{\dfrac{\ell^2+k^2}{\ell g}}$

আপনি নিশ্চয় লক্ষ্য করেছেন যে কৌণিক বিস্তার θ_m বৃদ্ধি পেলে দোলনকাল বাড়ে 8.8 সমীকরণ অনুযায়ী।

এখন θ_m যদি 15° বা $\dfrac{15\times\pi}{180}$ রেডিয়ান $=0.262$ রেডিয়ান হয় তবে দোলনকাল $T\simeq1.0043T_o$ অর্থাৎ

দোলনকালে শতকরা ত্রুটি $=\left(\dfrac{T-T_0}{T_o}\right)\times100=0.43\%$। এই ত্রুটি বেশি না হওয়ায় আমরা 15° পর্যন্ত কৌণিক বিস্তার নিতে পারি। $\theta_m=23^\circ$ হলে এই ত্রুটির পরিমাণ প্রায় 1 শতাংশ হয়।

(ii) বার দোলকটির দোলনের সময়ে মূলত বায়ুর সান্দ্রতার জন্য বাধায় দোলকটির কৌণিক বিস্তার ক্রমশ কমে আসে, কেননা দোলন অবমন্দিত (damped) হয়। এই কারণে বায়ুর বাধা না থাকলে যে দোলনকাল হত তার থেকে দোলনকাল সামান্য বৃদ্ধি পায়। দোলকের বিস্তার যদি 5 মিনিটে অর্ধেক হয়, তাহলে দোলনকালের পরিবর্তন $10^{-4}\%$ এর চেয়ে বেশি হয় না। কাজেই সাধারণ পরীক্ষার ক্ষেত্রে বায়ুর সান্দ্রতার জন্য যে ত্রুটি সেটা উপেক্ষা করা যায়।

(iii) যে ক্ষুরধারের সাপেক্ষে বার দোলকটি দুলতে থাকে তার ধারটি একটি রেখা হওয়া প্রয়োজন কেননা তাহলে ℓ এর মান সঠিক হয়। কিন্তু ধারটি সাধারণত একটি রেখা হয় না; এটি খুব ছোট ব্যাসার্ধের চোঙের আকারে থাকে। এই চোঙের ব্যাসার্ধ r হলে দোলন অক্ষ থেকে ভারকেন্দ্রের দূরত্ব ℓ না হয়ে $(\ell + r)$ হয়। সেই কারণে পরীক্ষায় ত্রুটি হয়। তবে সাধারণত এই ত্রুটির পরিমাণও খুবই নগণ্য হয়।

পরীক্ষার নির্ণীত মানের ত্রুটি ঃ

এই পরীক্ষায় পরিমাপযোগ্য রাশি দুই ধরণের। প্রথমটি হ'ল বার দোলকের ক্ষেত্রে ভারকেন্দ্র থেকে লম্বন বিন্দুর দূরত্ব বা সরল দোলকের ক্ষেত্রে দোলকের দৈর্ঘ্য। দ্বিতীয় রাশিটি বার অথবা সরল দোলকের দোলনকাল।

দৈর্ঘ্যের পরিমাপে সর্বাধিক 1mm ত্রুটি হতে পারে, অর্থাৎ বার দোলকের ক্ষেত্রে $\ell = 50$cm হলে আপেক্ষিক ত্রুটি 0.2%। সরল দোলকের ক্ষেত্রে X দৈর্ঘ্যের পরিমাপে সর্বাধিক 1mm ত্রুটি হলেও, সুতার প্রসার্যতার জন্য এর চেয়ে বেশি ত্রুটি ঘটতে পারে। আমরা $\Delta\ell = 1mm$ এবং সরল দোলকের ক্ষেত্রে $\Delta\ell = 2mm$ ধরে নেব।

সময়ের পরিমাপে স্টপওয়াচের ক্ষুদ্রতম দাগ 0.2 বা 0.25 সেকেন্ড হলেও পরীক্ষাকারীর ব্যক্তিগত ত্রুটির ফলে প্রকৃত ত্রুটির পরিমাণ এর চেয়ে বেশি হয়ে থাকে। 30 টি পূর্ণ দোলনের জন্য মোট সময়ের যে তিনটি ক'রে মান আপনি 2,3, ও 5 নং সারণিতে লিখেছেন সেগুলির তারতম্য থেকে আপনি সময়ের পরিমাপে ত্রুটির পরিমাণ সম্বন্ধে ধারণা করতে পারবেন। মোটামুটিভাবে ধরা যাক 30 টি পূর্ণ দোলনের সময় t = 30s এবং $\Delta t = 0\cdot 3s$ অর্থাৎ T = 1s এবং $\Delta t = 0\cdot 01s$

এই পরীক্ষায় অভিকর্ষজ ত্বরণ g এবং বার দোলকের ঘূর্ণন ব্যাসার্ধ k সব ক্ষেত্রেই লেখচিত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা হয়েছে। এই রাশিগুলির নির্ণীত মানের ত্রুটি তাই লেখচিত্রগুলি কতটা সূক্ষ্মতার সঙ্গে সঠিকভাবে আঁকা যায় তার উপর নির্ভরশীল।

লেখচিত্রগুলির স্থানাঙ্কে ত্রুটির পরিমাণ নিম্নরূপ ঃ

$$\Delta\ell = 0\cdot 1cm, \Delta L = 0\cdot 2cm$$
$$\Delta T = \cdot 01s$$
$$\Delta(T^2) = 2T\Delta T = 0\cdot 2TS^2$$
$$\Delta(\ell^2) = 2\ell\Delta\ell = 0\cdot 2\ell cm^2$$
$$\Delta(\ell T^2) = T^2\Delta\ell + 2\ell T\Delta T = (0\cdot 1T^2 + \cdot 02\ell T)cm.s^2$$

আপনি ইচ্ছা করলে লেখচিত্রের প্রতিটি বিন্দুর উপর-নিচে অনুভূমিক দাগ এবং ডাইনে-বামে উলম্ব দাগ দিয়ে সেগুলির স্থানাঙ্কের ত্রুটি দেখাতে পারেন। এর ফলে প্রতিটি বিন্দু এক একটি ক্ষুদ্র আয়তক্ষেত্রে পরিণত হবে। এই আয়তগুলির মধ্য দিয়ে যে সরলরেখাগুলি আঁকা যায় সেগুলির নতি ও ছেদিতাংশের কিছুটা বিস্তার থাকবে। এই বিস্তারের অর্ধেককেই নতিও ছেদিতাংশের ত্রুটি হিসাবে ধরা যায়। তবে এই পদ্ধতি কিছুটা জটিল ও সময়সাপেক্ষ।

8.5 প্রশ্নাবলী

1. এই পরীক্ষায় দোলনকাল নির্ণয়ের জন্য আপনি একটি -দুটি পূর্ণ দোলনের সময় না মেপে 30 টি পূর্ণ দোলনের সময় মেপেছেন। এর সুবিধা কী?

2. ধরা যাক আপনি যে বার দোলকটি ব্যবহার করেছেন সেটির মোট দৈর্ঘ্য 1.20m ভারকেন্দ্রটি তার মধ্যবিন্দুতে আছে এবং ভারকেন্দ্রের সাপেক্ষে দোলকটির ঘূর্ণন ব্যাসার্ধ 35cm । দোলকটির মধ্যে অনেকগুলি ছিদ্র করা আছে যেগুলির মধ্যে ক্ষুরধার প্রবেশ করিয়ে দোলকটিকে আলম্বিত রাখা যায়। এমন কত গুলি আলম্বন বিন্দু দোলকটি মধ্যে পাওয়া যাবে যাতে দোলনকাল (i) 1.68s ii) 1.50s iii) 1.75.s এবং iv) 2.00s হয় ?

3. বার দোলকটিকে আলম্বিত করার জন্য ক্ষুরধারের পরিবর্তে ছোট ব্যাসার্ধের বেলনাকৃতি দণ্ড ব্যবহার করা যায় কী?

4.বার দোলকটির প্রস্থচ্ছেদ বা উপাদান দৈর্ঘ্যের সঙ্গে পরিবর্তিত হলে পরীক্ষায় কোন অসুবিধা হবে কী?

5.সরল দোলকের দৈর্ঘ্য সেটির আলম্বিত অবস্থাতেই মাপা উচিত কেন?

8.6 সারাংশ

এই এককে আমরা যে পরীক্ষা বিষয়ে আলোচনা করেছি তার উদ্দেশ্য একটি বার দোলক (যৌগিক দোলক) এর দোলনকাল এর ভারকেন্দ্র থেকে আলম্বন বিন্দুর দূরত্বের (ℓ) ওপর কীভাবে নির্ভর করে সেটি দেখানো। দেখা যায় যে ℓ এর মান যখন বেশি থেকে কমের দিকে আসে, অর্থাৎ দোলন অক্ষটি ভারকেন্দ্রের নিকটবর্তী হয়, তখন দোলনকাল ক্রমশ কমে সর্বনিম্ন হয় এবং তারপর আবার বৃদ্ধি পায়। দোলনকাল T ও ℓ এর সম্পর্কটি পরীক্ষার ব্যবস্থা ও পদ্ধতি আমরা এখানে আলোচনা করছি এবং এই পরীক্ষার ফল থেকে কিভাবে g - এর মান নির্ণয় করা যায় তাও আলোচনা করা হয়েছে। এছাড়া ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যাওয়া অনুভূমিক অক্ষের সাপেক্ষে বার দোলকটির ঘূর্ণন ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের পদ্ধতিও আলোচিত হয়েছে। সর্বশেষে এই পরীক্ষায় কি ধরণের ত্রুটি আসতে পারে-এ বিষয়েও আলোচনা করা হয়েছে।

8.7 উত্তরমালা

1. যে কোনও সংখ্যক পূর্ণ দোলনের সময়ের পরিমাপে ঘড়ির সময় পরিমাপের সীমিত সূক্ষ্মতা এবং পরীক্ষাকারীর ব্যক্তিগত ত্রুটির জন্য মোট ত্রুটির পরিমাণ একই। সুতরাং পরিমেয় সময় যত দীর্ঘ হবে, আপেক্ষিক ত্রুটির মান ততই কম হয়। এজন্যই একটি দুটি দোলনকালের সময় না মেপে 30 বা তার বেশি সংখ্যক পূর্ণ দোলনের সময় মাপা সুবিধাজনক।

2. এ ক্ষেত্রে $$T_{min} = 2\pi\sqrt{\frac{2k}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{2\times0\cdot35}{9\cdot8}} = 1\cdot68s$$

দোলকটিকে তার একটি প্রান্তবিন্দুতে আলম্বিত করলে ℓ এর মান হবে 0.60m এবং সেক্ষেত্রে দোলনকাল হবে–

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell^2 + k^2}{\ell g}} = 2\pi\sqrt{\frac{(0\cdot6)^2 + (0\cdot35)^2}{0\cdot6\times9\cdot8}} = 1\cdot80s$$

সুতরাং (i) 1.68s দোলনকাল হবে দুটি আলম্বন বিন্দুর জন্য (ii) 1.50s দোলনকাল কোন আলম্বন বিন্দুর ক্ষেত্রেই হবে না কেননা এটি T_{min} অপেক্ষা কম।(iii) মোট চারটি আলম্বন বিন্দুর ক্ষেত্রে T = 1.75s হবে।(iv) এক্ষেত্রে দুটি সম্ভবপর আলম্বন বিন্দু বার দোলকটির বাইরে থাকবে কেননা দোলনকালটি 1.80s অপেক্ষা বড়। সুতরাং মাত্র দুটি আলম্বন বিন্দু পাওয়া যাবে, যেগুলির ক্ষেত্রে দোলনকাল 2.0s হবে।

3. না, কেননা সেক্ষেত্রে দোলকের দোলনের সঙ্গে আলম্বন বিন্দুটিও সরতে থাকবে এবং দোলকের দৈর্ঘ্য কার্যকরীভাবে বৃদ্ধি পাবে।

4. যৌগিক দোলকের তত্ত্বে দোলকটির সমসত্ত্বতা বা প্রস্থচ্ছেদের সমতা ধরে নেওয়া হয়নি, সুতরাং প্রস্থচ্ছেদ অসমান হলে অথবা উপাদান দৈর্ঘ্যের সঙ্গে পরিবর্তিত হলে পরীক্ষায় কোন অসুবিধা হবে না।

5. সরল দোলকের সুতাটি সম্পূর্ণ অপ্রসার্য হয় না, কাজেই আলম্বিত অবস্থায় মাপা হলে দোলকের প্রকৃত দৈর্ঘ্য পাওয়া যাবে। অন্য সময় সুতাটিতে টান না থাকায় দৈর্ঘ্য সামান্য কম হবে।

একক 9 ☐ উত্তল ও অবতল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় ঃ স্থানান্তর ও যুগ্মিত পদ্ধতি

গঠন

9.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

9.2 ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের স্থানান্তর পদ্ধতি

9.2.1 স্থানান্তর পদ্ধতির মূলতত্ত্ব

9.2.2 পরীক্ষার যন্ত্রসজ্জা

9.2.3 পরীক্ষা পদ্ধতি

9.2.4 ত্রুটি

9.3 যুগ্মিত পদ্ধতি

9.3.1 যুগ্মিত পদ্ধতির মূলতত্ত্ব

9.3.2 পরীক্ষা পদ্ধতি

9.3.3 ত্রুটি

9.4 সারাংশ

9.5 প্রশ্নাবলী

9.6 উত্তরমালা

9.1 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 দ্'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 মত 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

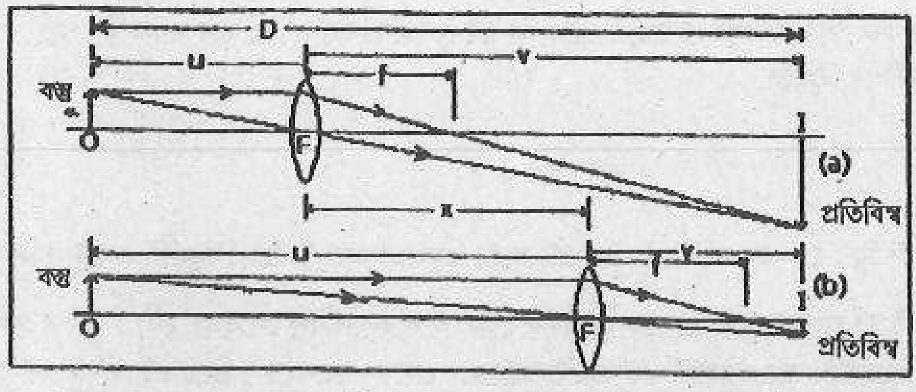
- আলোকীয় বেঞ্চ (optical bench) ব্যবহারের দক্ষতা অর্জন করবেন এবং
- লেন্স, পর্দা প্রভৃতির অবস্থান উপযোজন করে পর্দায় ফোকাসিত সদ্‌বিম্ব পাওয়ার অভ্যাস করতে পারবেন, যা রিফ্লেক্স ক্যামেরা, মাইক্রোস্কোপ, টেলিস্কোপ, প্রজেক্টর প্রভৃতির ব্যবহারে আপনাকে সাহায্য করবে।

9.2 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 লেন্সের দুটি ভিন্ন অবস্থানের জন্য পর্দায় বস্তুর সদ্‌বিম্ব গঠিত হয়। বস্তু থেকেপর্দার দূরত্ব এবং লেন্সের দুই অবস্থানের মধ্যে ব্যবধানের পরিমাপ থেকেও লেন্সটির ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়। লেন্সটি এক অবস্থান থেকে অন্য অবস্থানে যেতে সেটির স্থানান্তর মাপতে হয় বলেই এই পদ্ধতিকে স্থানান্তর পদ্ধতি বলা হয়। এবার এই পদ্ধতির গাণিতিক মূলতত্ত্বটি দেখা যাক।

9.2.1 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, বস্তু দূরত্ব এবং FI = v, বিম্ব দূরত্ব [চিত্র 9.1(a)]। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যদি f হয় তবে আপনি জানেন যে,



চিত্র নং 9.1(a) (b)

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f} \qquad \text{......9.1}$$

এখানে আমরা সদ্‌বস্তুর দূরত্ব, সদ্‌বিম্বের দূরত্ব এবং উত্তল লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্যকে পজিটিভ ধরেছি এবং এই চিহ্নরীতিই আমরা ব্যবহার করব। এবার দেখুন u এর স্থানে v আর v এর স্থানে u বসালেও 9.1 সূত্রটি সিদ্ধ হয়, অর্থাৎ বস্তুদূরত্ব যদি v হয় তবে সদ্‌বিম্বের দূরত্ব u হবে। 9.1 (b) চিত্রে এই অবস্থাটি দেখানো হয়েছে। এই দুই ক্ষেত্রের মধ্যে লেন্সের স্থানান্তর x = v-u। এছাড়া বস্তু ও সদ্‌বিম্বের মধ্যে দূরত্ব D = v + u।

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

9.1 সূত্রে u ও v এর রাশিমালাগুলি বসালে পাবেন

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

অর্থাৎ, সরলীকরণের পর

$$f=\frac{D^2-x^2}{4D} \qquad \text{..........9.2}$$

9.2 সূত্রটিই স্থানান্তর পদ্ধতির কার্যকরী সূত্র। তবে এই প্রসঙ্গে একটি বিষয় আপানাকে মনে রাখতে হবে। 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 9.2 সূত্র থেকে

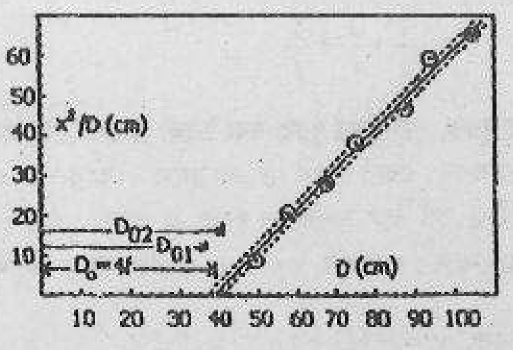
$$x^2 = D^2 - 4Df = 4D\left(\frac{D}{4} - f\right)$$

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 আপনাকে বস্তু ও সদবিম্বের দূরত্ব $4f$ এর সমান বা তদূর্ধ্ব রাখতেই হবে।

D ও x এর মান জানা থাকলে 9.2 সূত্র থেকে আপনি ফোকাস দৈর্ঘ্য f এর মান সরাসরি পেতে পারেন। এছাড়া সূত্রটি সাজিয়ে লিখলে

$$\frac{x^2}{D} = D - 4f \qquad ......9.3$$

আপনি যদি $\frac{x^2}{D}$ রাশিটিকে D এর সঙ্গে লেখচিত্রে প্লট করেন তবে আপনার নির্ণীত বিন্দুগুলি একটি সরলরেখার উপর থাকবে যেটি D অক্ষের সঙ্গে 45° কোণে আনত থেকে অক্ষকে মূলবিন্দু থেকে $4f$ দূর ত্বে ছেদ করবে। এই ছেদ দূরত্বকে 4 দিয়ে ভাগ করেও আপনি ফোকাস দৈর্ঘ্যের মান পেতে পারেন। 9.2 চিত্রে এই লেখচিত্রের ধরনটি দেখানো হয়েছে।



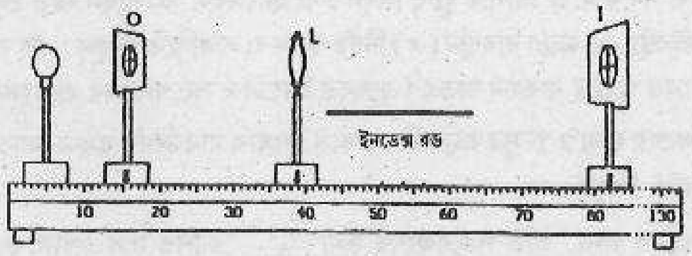
চিত্র নং 9.2

9.2.2 পরীক্ষার যন্ত্রসজ্জা

এই পরীক্ষায় যে যন্ত্রপাতি লাগবে সেগুলি হ'ল ঃ

পরীক্ষণীয় লেন্স, আলোর উৎস, বস্তু, লেন্স ও প্রতিবিম্ব পর্দার স্ট্যাণ্ড 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। আলোকীয় বেঞ্চের দৈর্ঘ্য নির্ণেয় ফোকাস দৈর্ঘ্যের 6-7 গুণ হওয়া প্রয়োজন।

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



চিত্র নং 9.3

9.2.3 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 ($\ell - \ell' = e$) 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 9.1- 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- 9.2)। এইভাবে লেন্সের অবস্থান মোট তিনবার উপযোজন করুন ও স্কেলের পাঠ নিন। এবার লেন্সটিকে পর্দার দিকে সরিয়ে নিন। এখন পর্দার উপর পুনরায় বস্তুর সদ্‌বিম্ব গঠিত হবে। সদ্‌বিম্বটিকে সবচেয়েস্পষ্ট করে আবার লেন্সের অবস্থানের পাঠ নিন এবং সারণিতে লিখুন।

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

(iv) বস্তু ও পর্দার মধ্যে দূরত্ব পাঁচ-ছয় শতাংশের মত 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 9.2 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 উলম্ব অক্ষে $\frac{x^2}{D}$ ধরে একই স্কেলে পর্যবেক্ষণগুলি প্লট করুন (চিত্র 9.3)। যে বিন্দুগুলি পেলেন সেগুলির মধ্য দিয়ে D অক্ষের সঙ্গে 45° কোণে সবচেয়ে মানানসই সরলরেখা টানুন। D অক্ষে সরলরেখাটির ছেদিত অংশের দৈর্ঘ্য D_o নির্ণয় করুন এবং সেটিকে চার দিয়ে ভাগ করে ফোকাস দৈর্ঘ্য বার করুন।

সারণি 9.1 ইনডেক্স সংশোধন নির্ণয়

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

সারণি 9.2 ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয়

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বস্তুর অবস্থান (cm)	পর্দার অবস্থান (cm)	আপাত দূরত্ব ℓ' (cm)	প্রকৃত দূরত্ব, $D = \ell + e$ (cm)	লেন্সের প্রথম অবস্থানের পাঠ (cm)	গড় পাঠ (cm)	লেন্সের দ্বিতীয় অবস্থানের পাঠ (cm)	গড় পাঠ (cm)	লেন্সের স্থানান্তর λ (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 : Do = ...cm

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

9.2.4 ত্রুটি

(ক) আমরা প্রথমে 9.2 সূত্রের সাহায্যে নির্ণীত ফোকাস দৈর্ঘ্যের ত্রুটির মান আলোচনা করব। সূত্রটিকে লেখা যায় : $f = \frac{D}{4} - \frac{x^2}{4D}$ । D ও x এর মানে যদি যথাক্রমে ΔD ও Δx ত্রুটি থাকে তবে অবকলন করে,

$$\Delta f = \frac{1}{4}\Delta D + \frac{2x}{4D}\Delta x + \frac{x^2}{4D^2}\Delta D \quad = \frac{1}{4}\left(1 + \frac{x^2}{D^2}\right)\Delta D + \frac{x}{2D}\Delta x$$, যেখানে

Δx এর পরিবর্তে - Δx লেখা হয়েছে কেননা D ও x রাশিদুটির ত্রুটি এমনভাবে ঘটতে পারে যাতে Δf এর মান বেশি হয়।

ইনডেক্স সংশোধনের মধ্যে ত্রুটির মান উপেক্ষা করলে $\Delta D = 2$mm ধরা যেতে পারে, কেননা বস্তু ও পর্দার স্ট্যান্ডের উভয়ের পাঠেই 1mm ত্রুটি হতে পারে। Δx এর মান অবশ্য শুধু স্কেলের পাঠের ত্রুটির উপর নির্ভর করে না। লেন্সটিকে যখন আগু পিছু করে সদ্‌বিম্বটিকে সবচেয়ে স্পষ্ট করা হয় তখন লেন্সের অবস্থানে 2mm ত্রুটি থাকতে পারে। যেহেতু লেন্সের দুই অবস্থানে র পাঠেই এই ত্রুটি হতে পারে, x রাশির মধ্যে ত্রুটি $\Delta x \approx (2^2 + 2^2)^{\frac{1}{2}}$ বা 3mm ধরা যেতে পারে।

উদাহরণস্বরূপ $D = 75cm, x = 33.5cm, f = 15cm$ ধরা যেতে পারে। সেক্ষেত্রে

$\Delta f = \frac{1}{4}\left(1 + \frac{33.5^2}{75^2}\right) \times 0.2 + \frac{33.5}{2 \times 75} \times 0.3 = 0.13\,cm$ এবং ফোকাস দৈর্ঘ্যে আপেক্ষিক ত্রুটি

$$\frac{0 \cdot 13}{15} \times 100 \approx 0 \cdot 85\%$$

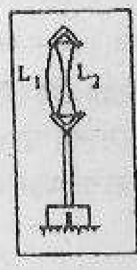
(খ) লেখচিত্র থেকে নির্ণীত ফোকাস দৈর্ঘ্যের মানের ত্রুটি নির্ণয় করতে হলে D- $\frac{x^2}{D}$ লেখচিত্রে অনুভূমিক D অক্ষটিকে সবচেয়ে মানানসই সরলরেখাটি যে বিন্দুতে ছেদ করেছে তার বাম ও ডানদিকের বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে মানানসই সরলরেখা আঁকার চেষ্টা করুন। D অক্ষে সবচেয়ে কম ও সবচেয়ে বেশি যে দৈর্ঘ্যে ছেদ করে সরলরেখাটি আঁকা যায় সে দুটির মান নির্ণয় করুন। ধরুন এগুলি D_{o1} ও D_{o2} এখন $\Delta f = \frac{1}{2}\left(\frac{D_{o2}}{4} - \frac{D_{o1}}{4}\right)$ রাশিটিকে নির্ণীত ফোকাস দৈর্ঘ্যে ত্রুটি বলে ধরা যেতে পারে। 9.3 চিত্র থেকে পদ্ধতিটি আপনার কাছে স্পষ্ট হবে।

9.3 যুগ্মিত পদ্ধতি

9.2 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 মত 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।

9.3.1 যুগ্মিত পদ্ধতির মূলতত্ত্ব

ধরুন L_1 একটি উত্তল লেন্স (চিত্র 9.4) যার ফোকাস দৈর্ঘ্য f আপনার জানা আছে। এটিকে স্পর্শ করে, সমাক্ষভাবে অন্য একটি f_2 ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্স L_2 কে রাখা হল। যুগ্ম লেন্সটি এখন F ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি লেন্সের মত আচরণ করবে যেখানে



চিত্র 9.4

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \qquad ......9.4$$

অর্থাৎ $$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f_1} \qquad ......9.5$$

9.4 সূত্র থেকে স্পষ্টই বুঝতে পারছেন যে যেহেতু f_1 পজিটিভ, f_2 পজিটিভ হলে F সর্বদাই পজিটিভ 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 নেগেটিভ হবে এবং $f_2 \rangle f_1$ হলে তবেই F পজিটিভ হবে, অর্থাৎ যুগ্ম লেন্সটি উত্তল বা অভিসারী লেন্সের মত কাজ করবে। সেক্ষেত্রে যুগ্ম লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য স্থানান্তর পদ্ধতিতে মেপে f_2 এর মান 9.5 সূত্র থেকে নির্ণয় করা যাবে।

9.3.2 পরীক্ষা পদ্ধতি

(i) 9.3 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 মত, অর্থাৎ অভিসারী লেন্স

হিসাবে কাজ করছে কিনা। 9.2.3 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 9.2.3 অংশের (iii) থেকে (vii) পদ্ধতিগুলি লেন্স সমবায়টির জন্য পুনরাবৃত্তি করুন। লেন্স সমবায়ের গড় ফোকাস দৈর্ঘ্য F 9.2 সারণির সাহায্যে এবং লেখচিত্র থেকে নির্ণয় করুন।

যেহেতু f_1 ও F দুটিই আপনি নির্ণয় করেছেন, এখন আপনি 9.5 সূত্রের সাহায্যে F_2 ফোকাস দৈর্ঘ্যটি নির্ণয় করতে পারবেন।

9.3.3 নির্ণীত ফোকাস দৈর্ঘ্যে ত্রুটি

9.5 সূত্রে $\frac{1}{f_2}, \frac{1}{F}$ এবং $\frac{1}{f_1}$ রাশিগুলির ত্রুটি যথাক্রমে $\frac{\Delta f_2}{f_2^2}$ $\frac{\Delta F}{F_2}$ ও $\frac{\Delta f_1}{f_1^2}$ । পরিসংখ্যানের নিয়মানুযায়ী $\frac{\Delta f_2}{f_2^2} = \left[\left(\frac{\Delta F}{F^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f_1}{f_1^2}\right)^2\right]^{1/2}$ লেখা যায়। এই সূত্র থেকে F ও f_1 ফোকাস দৈর্ঘ্য গুলির আপেক্ষিক ত্রুটির মান, যথাক্রমে $\frac{\Delta F}{F}$ ও $\frac{\Delta f_1}{f_1}$ ব্যবহার করে আপনি f_2 ফোকাস দৈর্ঘ্যের ত্রুটি বার করতে পারবেন।

একটি বিকল্প পদ্ধতিতেও আপনি এই ত্রুটির মান পেতে পারেন। যদি f_1, f_2 ও F মিটার এককে প্রকাশ করা যায় দুটি লেন্স ও লেন্স সমবায়ের ক্ষমতা $p_1 = \frac{1}{f_1}, p_2 = \frac{1}{f_2}$ ও $P = \frac{1}{F}$ 9.5 সূত্র থেকে

$$p_2 = P - p_1$$

অর্থাৎ $\Delta p_2 = \left[(\Delta P)^2 + (\Delta p_1)^2\right]^{1/2}$

কিন্তু $\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta F}{F^2} \Big/ \frac{1}{F} = \frac{\Delta F}{F}$ এবং অনুরূপভাবে $\frac{\Delta P_1}{P_1} = \frac{\Delta f_1}{f_1}$ ও $\frac{\Delta P_2}{P_2} = \frac{\Delta f_2}{f_2}$

সুতরাং Δf_1 ও ΔF জানা থাকলে আপনি সহজেই Δp_2 বা Δf_2 নির্ণয় করতে পারবেন।

9.4 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।

9.5 প্রশ্নাবলী

(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

(ক) $D > 4f$ (খ) $D = 4F$ (গ) $D < 4f$

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

(ক) $\sqrt{5}f$ (খ) f (গ) 5f

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

(ক) সরলরেখা (খ) অধিবৃত্ত (parabola) (গ) পরাবৃত্ত (hyperbola)

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

(ক) অবতল, -30cm (খ) উত্তল, 30cm (গ) অবতল, -5cm

5. একটি আলোকীয় বেঞ্চে বস্তু ও পর্দার মধ্যে ব্যবধান 1.60 মিটারের বেশি করা যায় না। একটি অবতল লেন্সের সঙ্গে সমবায়ে 20cm 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

(ক) 20cm বা তদূর্ধ্ব (খ) 40cm বা তদূর্ধ্ব (গ) সর্বোচ্চ 20cm।

(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 (120cm) সঠিক মাপলেও x এর মান 20cm এর পরিবর্তে 2% বেশি পেলেন। এতে ফোকাস দৈর্ঘ্য পরিমাপে কত আপেক্ষিক ত্রুটি হল?

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

৯.6 উত্তরমালা

1. (গ)

2. (ক)

3. (গ) কেননা 9.2 সূত্রকে লেখা যায় $\left(\frac{D}{2f}-1\right)^2-\left(\frac{x}{2f}\right)^2=1$ যেটি একটি পরাবৃত্তের সমীকরণ।

4. (ক)

5. (খ)

(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 হবে $\frac{1}{2}$ ।

(iii) সঠিক ফোকাস দৈর্ঘ্য $=\frac{120^2-20^2}{4\cdot120}=29.167cm$

নির্ণীত ফোকাস দৈর্ঘ্য $=\frac{120^2-(20.4)^2}{4.120}$ কেননা x এর প্রাপ্ত মান 20 +0.4 = 20.4

$=29.133cm$

∴ ফোকাস দৈর্ঘ্যে ত্রুটি = 29.167-29.133 = .034cm

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

(এই উদাহরণটি থেকে বোঝা যায় যে সদ্বিম্ব ঠিক মত 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 পদ্ধতি মাপা যাবে না। প্রথমে 20-30cm 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 9.5 সূত্র ব্যবহার করে ফোকাস দৈর্ঘ্যটি নির্ণয় করা যাবে।

একক 10 ☐ লী-এর চাকতি পদ্ধতির সাহায্যে তাপ কুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা (thermal conductivity) নির্ণয়।

গঠন

10.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

10.2 পরীক্ষা ব্যবস্থা ও যন্ত্রপাতি

10.3 মূলতত্ত্ব

10.4 পরীক্ষা পদ্ধতি

10.5 পরীক্ষালব্ধ ফল

10.6 পরীক্ষালব্ধ মানের ত্রুটি নির্ণয়

10.7 মন্তব্য

10.8 প্রশ্নাবলী

10.9 সারাংশ

10.10 উত্তরমালা

10.1 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 কাঁচ, লোহা বা তামার অণুগুলি স্থানচ্যুত হচ্ছে না। আপনি জানেন তাপের এ জাতীয় সঞ্চালনকে পরিবহণ' বলে। এটাও দেখা যাচ্ছে যে কাঁচ, লোহা, তামার পরিবহণ ক্ষমতা সমান নয়। তামা ও লোহাতে তাপ দ্রুত সঞ্চালিত হতে পারে। এগুলিকে তাই আমরা সুপরিবাহী বলি। কাঁচের মধ্যে দিয়ে কিন্তু তাপ দ্রুত পরিবাহিত হতে পারেনা। এ রকম পদার্থকে কুপরিবাহী বলে। প্রায় সব ধাতুই তাপের সুপরিবাহী। উদাহরণ হিসেবে রূপা,তামা, লোহা, পিতল, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদির নাম বলা যায়। অপরপক্ষে, কর্ক,রবার,'কাঠ, কাঁচ 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 অন্তর্জাতিক

একক $Wm^{-1}K^{-1}$ (ওয়াট / মিটার $^{\circ}C$)। এই 'তাপ পরিবাহিতা' পদার্থের আকার, আকৃতি বা আয়তনের ওপর নির্ভরশীল নয়। সুপরিবাহীর 'তাপ 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।

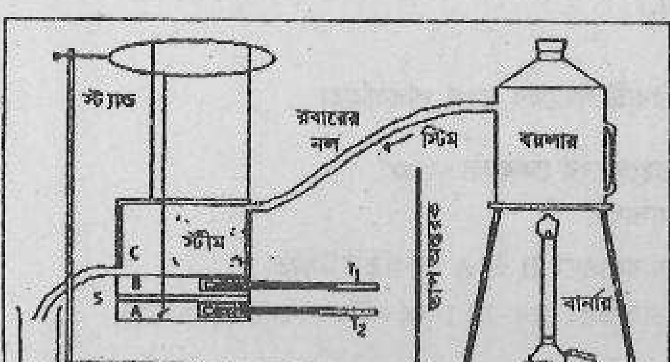
এই পরীক্ষায় আপনি লী (Lee) এর পদ্ধতিতে কোন কুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা নির্ণয় করতে শিখবেন।

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 পরিচলন ও বিকিরণের জন্য তাপক্ষয়ের হার নির্ধারণ করতে পারবেন।
- চাকতির আকারে থাকা কুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা নির্ণয় করতে পারবেন।

10.2 পরীক্ষা ব্যবস্থা ও যন্ত্রপাতি



চিত্র নং 10.1

এই পরীক্ষার জন্য প্রয়োজনীয় পরীক্ষাব্যবস্থা 10.1 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।

10.3 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 ধরে 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

$$= \frac{dQ}{dt} = \frac{KA(\theta_1 - \theta_2)}{d} \qquad ......10.1$$

যেখানে K = কুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা

A = S চাকতির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= \pi r^2$

(r = S চাকতির ব্যাসার্ধ)

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

d = S কুপরিবাহী চাকতির বেধ 10.1 নং সমীকরণ থেকে লেখা যায়,

$$K = \frac{\left(\frac{dQ}{dt}\right)d}{\pi r^2(\theta_1 - \theta_2)} \qquad ......10.2$$

10.1 ও 10.2 সমীকরণের $\frac{dQ}{dt}$ আবার পরীক্ষাধীন অবস্থায় (অর্থাৎ A-এর ওপরে S চাকতিটি বসানো

অবস্থায়) A- থেকে $\theta_2^\circ c$ উষ্ণতায় পরিচলন ও বিকিরণের সাহায্যে তাপক্ষরের হারের সমান হবে।

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

এই অবস্থায় $\theta_2^\circ c$ 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

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

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

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

$$= ms\left[\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2}\times\frac{r+2D}{2r+2D}\right] \quad \text{...... (10.3)}$$

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

D = A চাকতির বেধ

সমীকরণ 10.3 থেকে K এর মান পাই

$$k=\frac{ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2}\times\left(\frac{r+2D}{2r+2D}\right)d}{\pi r^2(\theta_1-\theta_2)} \quad \text{......(10.4)}$$

10.4 সমীকরণের সাহায্যে K এর মান নির্ণয় করা যায়।

A চাকতির ব্যাসার্ধ যদি কুপরিবাহী চাকতির ব্যাসার্ধ r এর তুলনায় সামান্য কম $(=r')$ হয় তবে 10.4 সমীকরণটিতে বেডফোর্ড সংশোধনে r এর পরিবর্তে r' ব্যবহার করতে হবে। সেক্ষেত্রে সমীকরণটির পরিবর্তিত রূপ হবে।

$$k=\frac{ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2}\times\left(\frac{r'+2D}{2r'+2D}\right)\text{d}}{\pi r^2(\theta_1-\theta_2)} \quad \text{......... (10.5)}$$

10.4 পরীক্ষা পদ্ধতি

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

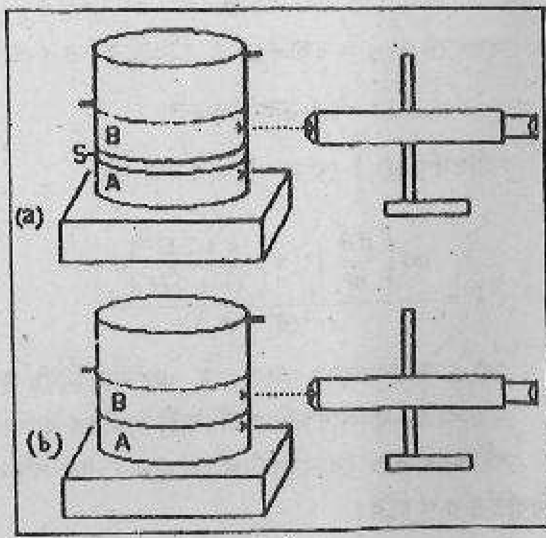
(ii) স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে A চাকতির বেধ নির্ণয় করার জন্য প্রথমে স্লাইড ক্যালিপার্সের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করুন। এরপরে এর সাহায্যে মূলস্কেল পাঠ ও ভার্নিয়ার পাঠ নিয়ে চাকতির অন্তত তিনটি ভিন্ন অঞ্চলে বেধের পরিমাপ করুন। এই পাঠগুলি 1নং সারণিতে লিপিবদ্ধ করুন।

(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 $r' = \frac{L}{2 \times 2\pi}$ । 2 নং সারণিতে উপাত্তগুলিকে লিপিবদ্ধ করুন।

(iv) ওপরের পদ্ধতির মত 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 10.2a)। A ও B এর গায়ে আঁকা ক্রসচিহ্নগুলি একই উলম্বরেখায় থাকবে। চলমান মাইক্রোস্কোপটিকে অনুভূমিক অবস্থায় রেখে B চাকতির গায়ে ক্রসচিহ্নের উপর ফোকাস করুন এবং ক্রসচিহ্নের ছেদবিন্দুটি মাইক্রোস্কোপের অনুভূমিক ক্রসতারের সঙ্গে মিলিয়ে নিন। মাইক্রোস্কোপের উলম্ব স্কেলের পাঠ (R_1) নিন। এবার মাইক্রোস্কোপটিকে নামিয়ে A চাকতির ক্রসচিহ্নের ছেদবিন্দুর সঙ্গে অনুভূমিক ক্রসতারটি



(চিত্র 10.2)

মিলিয়ে নিন এবং আগের মত উলম্ব স্কেলের পাঠ (R_1') নিন। ($R_1 - R_1'$) রাশি দুই ক্রসচিহ্নের ছেদবিন্দুটির

মধ্যে উলম্ব 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 উলম্ব স্কেলের পাঠ (যথাক্রমে R_2 ও R_2' নিন)। $(R_2 - R_2')$ রাশিটি এখন দুই ক্রসচিহ্নের ছেদ বিন্দুটির মধ্যে পরিবর্তিত উলম্ব দূরত্ব। $(R_1 - R_1') - (R_2 - R_2')$ রাশিটি S চাকতির নির্ণীত বেধ।

S চাকতিটিকে আগের অবস্থানের তুলনায় প্রথমে 120° ও তারপর 240° ঘুরিয়ে A ও B চাকতির মধ্যে রাখুন এবং প্রতিক্ষেত্রে পূর্বের মত সেটির বেধ নির্ণয় করুন। বেধের সমস্ত পরিমাপগুলি সারণি 4-এ লিখুন এবং মোট তিনটি পরিমাপ থেকে গড় বেধ নির্ণয় করুন। বেধের পরিমাপগুলির মধ্যে খুব বেশি পার্থক্য (>10%) থাকলে বুঝতে হবে যে S চাকতিটির বেধ সর্বত্র সমান নয় এবং সেটি এই পরীক্ষায় ব্যবহারের অনুপযুক্ত।

(vi) এবার 10.1 চিত্রের মতো পরীক্ষার যন্ত্রাংশ সাজিয়ে নিন। এখানে কুপরিবাহী চাকতি (S) B ও A চাকতির মধ্যে বসান 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 থার্মোমিটার A চাকতির মধ্যে রাখা T_2 থার্মোমিটার, উভয়েরই পাঠ বৃদ্ধি পাচ্ছে। যখন B চাকতির T_1 থার্মোমিটারের পাঠ $80°C$ এর কাছাকাছি হবে তখন স্টপক্লক চালু করুন এবং প্রতি 3 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 $= (\theta_1' - \theta_2')$ । 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 পাঠগুলি 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 থার্মোমিটারেরই 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 ক্রটির জন্যে উষ্ণতার পার্থক্যের ক্রটি অপনীত হবে।

সুতরাং স্থির অবস্থায় B ও A র মধ্যে সংশোধিত উষ্ণতা পার্থক্য

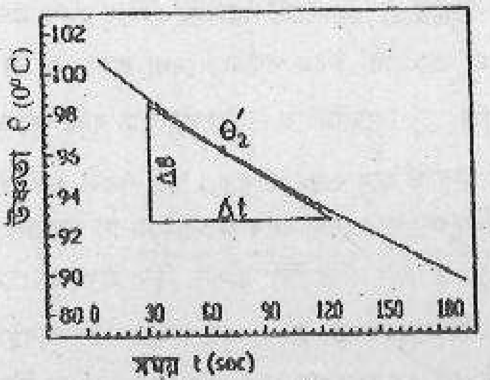
$$= (\theta_1 - \theta_2) = \frac{1}{2}(\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)$$

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 অবস্থার 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 10.3)। 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 10.4 সমীকরণে $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2}$ হিসাবে ব্যবহার করতে পারবেন।



চিত্র নং 10.3

10.5 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 = 1mm = 0.1cm

ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের সংখ্যা = 10

10 টি ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের মান = 9 টি মূল স্কেল ঘরের মান

বা 1 টি ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের মান $= \frac{9}{10} \times 1$ টি মূল স্কেল ঘরের মান।

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

$= \left(1 - \frac{9}{10}\right) \times$ মূল স্কেল ঘরের মান

$= \frac{1}{10} \times$ মূল স্কেল ঘরের মান $= \frac{1}{10} \times 0.1cm = 0.01\,cm$

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

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

সুত্রর 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 $r = \frac{L}{2 \cdot 2\pi}(m)$	S চাকতির ক্ষেত্রফল $= \pi r^2 \ (m^2)$
2	....	......	....

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

<u>চলমান মাইক্রোস্কোপের উলম্ব স্কেলের ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় ঃ</u>

উদাহরণ ঃ মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান = 0. 05cm, ভার্নিয়ার স্কেলের ঘর সংখ্যা = 50

50 টি ভার্নিয়ার স্কেল ঘরের মান = 49 টি মূল স্কেল ঘরের মান

ভার্নিয়ার স্কেলের 1 টি ঘরের মান = $\frac{49}{50}$ টি মূল স্কেল ঘরের মান

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

$= \left(1 - \frac{49}{50}\right)$ 1 টি মূল স্কেল ঘরের মান $= \frac{1}{50} \times \cdot 05\ cm = 0 \cdot 001\ cm$

মাইক্রোস্কোপের পাঠ ও বেধ নির্ণয়

মাইক্রোস্কোপের উলম্ব স্কেলের পাঠ

<table>
<tr><td rowspan="3">পরিমাপের ক্রমিক সংখ্যা</td><td colspan="7">কুপরিবাহী S চাকতি সহ</td><td colspan="7">কুপরিবাহী S চাকতি ব্যতীত</td><td rowspan="3">S চাকতির বেধ
$(R_1 - R_1')$
$-(R_2 - R_2')$
(m)</td><td rowspan="3">গড় বেধ
(d)
(m)</td></tr>
<tr><td colspan="3">B চাকতির পাঠ</td><td colspan="3">A চাকতির পাঠ</td><td rowspan="2">$R_1 - R_1'$
cm</td><td colspan="3">B চাকতির পাঠ</td><td colspan="3">A চাকতির পাঠ</td><td rowspan="2">$R_2 - R_2'$
cm</td></tr>
<tr><td>মূল স্কেল</td><td>ভার্নি স্কেল</td><td>R_1 cm</td><td>মূল স্কেল</td><td>ভার্নি স্কেল</td><td>R_1' cm</td><td>মূল স্কেল</td><td>ভার্নি স্কেল</td><td>R_2 cm</td><td>মূল স্কেল</td><td>ভার্নি স্কেল</td><td>R_2' cm</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

সারণি- 5ঃ সময়-উষ্ণতা উপাত্ত

<table>
<tr><td rowspan="2">থার্মোমিটার</td><td rowspan="2">চাকতি</td><td colspan="7">সময় (মিনিট)</td><td rowspan="2">স্থির অবস্থায় উষ্ণতা</td></tr>
<tr><td>0</td><td>3</td><td>6</td><td>9</td><td>12</td><td>15</td><td>......</td></tr>
<tr><td>T_1</td><td>B</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>$\theta_1' =$</td></tr>
<tr><td>T_2</td><td>A</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>$\theta_2' =$</td></tr>
<tr><td>T_2</td><td>B</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>$\theta_1'' =$</td></tr>
<tr><td>T_1</td><td>A</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>$\theta_2'' =$</td></tr>
<tr><td colspan="10">$\Delta\theta_1 = \theta_1' - \theta'_2 = \ldots\ldots\ldots, \Delta\theta_2 = \theta_1'' - \theta_2'' = \ldots\ldots\ldots, \theta_1 - \theta_2 = \frac{1}{2}(\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2) = \ldots\ldots$</td></tr>
</table>

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

সময় (Sec),t	0	30	60	90	120	150	180
উষ্ণতা ($^\circ C$), θ	......	....	......	......	....	......	
সময় (Sec),t	210	240	270	300	330	360	390
উষ্ণতা ($^\circ C$), θ	......	......	......	......	......	...	......

শীতলন লেখচিত্র (চিত্র 10.3) থেকে $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_i} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ .... 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)	$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_i}$ (KS^{-1})	বেডফোর্ড সংশোধন গুনাঙ্ক (f) $f=\frac{r+2D}{2r+2D}$	$\left[\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_i}\right]$ সংশোধিত $=\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_i} \times f$ (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

10.6 পরীক্ষালব্ধ মানের ত্রুটি নির্ণয়

তাপ পরিবাহিতার মান নির্ণয়ের সমীকরণটি হল

$$K = ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta_2} d.f / \pi r^2(\theta_1 - \theta_2) \quad \text{যেখানে } f = \frac{r+2D}{2r+2D}$$

সমীকরণটি লগীয় (logarithmic) অবকলন করে পাওয়া যায়

$$\frac{\Delta K}{K} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta(d\theta/dt)_{\theta_2}}{(d\theta/dt)_{\theta_2}} + \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta f}{f} + 2\frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta(\theta_1 - \theta_2)}{(\theta_1 - \theta_2)}$$

এখানে আপেক্ষিক তাপ s এর মান জানা থাকায় এর ত্রুটি ধরা হয়নি। A চাকতির ভর 1kg বা তার বেশি হয়ে থাকে। এই ভর 1gm সূক্ষ্মতায় মাপা সম্ভব; তাই $\Delta m/m$ এর মান 0.1% বা আরও কম। এজন্য এই রাশিটিকে উপেক্ষা করা যায়। কুপরিবাহী চাকতির বেধ d মাপতে আপনি চলমান মাইক্রোস্কোপের চারটি পাঠের যোগফল ও বিয়োগ ফল ব্যবহার করেছেন। প্রত্যেক পাঠে ত্রুটি 2 ভার্নিয়ার দাগ, অর্থাৎ .002cm ধরা যেতে পারে। সেক্ষেত্রে $(\Delta d)^2 = 4(.002)^2$ অর্থাৎ $\Delta d = .004cm$ । যদি $d \approx 2mm$ হয় তবে $\frac{\Delta d}{d} = \cdot 004/\cdot 2 = 2\%$ f রাশিটির আনুপাতিক ত্রুটি r অথবা D এর পরিমাপের আনুপাতিক ত্রুটির চেয়ে অনেক কম হয়ে থাকে। দেখা যায় যে r = 5cm, D = 1.5cm হলে r অথবা D এর পরিমাপে 7% ত্রুটির ফলে f এর মানে মাত্র 1% ত্রুটি হয়। এজন্য $\frac{\Delta f}{f}$ রাশিটিকে ও উপেক্ষা করা যেতে পারে। $\frac{\Delta r}{r}$ এর মান $\frac{\Delta L}{L}$ এর সমান। $\Delta L = 1mm, L = 2\times 2\pi \times 5cm = 63cm$ ধরলে $\frac{\Delta L}{L} = 0.1/63 = 0.16\%$ । এই ত্রুটিকেও অত্যন্ত ক্ষুদ্র বলা যেতে পারে।

$(d\theta/dt)_{\theta_2}$ রাশির মান A চাকতির শীতলন লেখে θ_2 উষ্ণতায় আঁকা স্পর্শকের নতির সমান। এই স্পর্শকটি আঁকার সময় লক্ষ্য করুন সেটির সর্বাধিক ও সর্বনিম্ন নতি কত হতে পারে। এই দুই নতির মান যদি g_2 এবং g_1 হয় তবে $\frac{1}{2}(g_2 - g_1)$ রাশিটিকে $\Delta(d\theta/dt)_{\theta_2}$ হিসাবে ধরা যেতে পারে। $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)$ রাশির আনুপাতিক ত্রুটি তাপরিবাহিতার মানের আনুপাতিক ত্রুটির একটি বড় অংশ হয়ে থাকে।

$\Delta(\theta_1 - \theta_2)$ এর মান থার্মোমিটার T_1 ও T_2 অংশাঙ্কনের সূক্ষ্মতা এবং সেগুলির গুণগত মানের উপর নির্ভর করে। থার্মোমিটার দুটি যদি নির্ভুল পাঠ দেয়, অর্থাৎ $\theta_1' = \theta_1''$ $\theta_2' = \theta_2''$ হয় তবে $\Delta\theta_1$ ও $\Delta\theta_2$ এর মান থার্মোমিটারের ক্ষুদ্রতম দাগের দ্বিগুণ ধরা যেতে পারে। অর্থাৎ ক্ষুদ্রতম দাগের মান $0\cdot 1^{\circ}C$ হলে

$\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2 = 0\cdot 2^\circ c$ $\theta_1 - \theta_2$ রাশিটি $\Delta\theta_1$ ও $\Delta\theta_2$ এর গড় মান এবং $\Delta(\theta_1 - \theta_2) = \frac{\cdot 2^\circ c}{\sqrt{2}}$ বা

$0.14^\circ c$ ধরা যাক। এখন যদি $\theta_1 - \theta_2 = 5^\circ c$ পেয়ে থাকেন, তবে ঐ উষ্ণতা প্রভেদের মানে আনুপাতিক ত্রুটি 0.14/5 বা 3%। থার্মোমিটারের দুটির মধ্যে অংশাঙ্কনে আগুপিছু ত্রুটি (lag) থাকলে $(\theta_1 - \theta_2) = \frac{1}{2}\left[\left(\theta_1' - \theta_2'\right) + \left(\theta_1'' - \theta_2''\right)\right]$ লিখতে হবে, যেখানে $\theta_1' - \theta_2'$ ও $\theta_1'' - \theta_2''$ পরস্পর

সম্পর্ক বিহীন রাশি এবং প্রতিটির ত্রুটি $0\cdot 2^\circ C$। এক্ষেত্রে $\Delta(\theta_1 - \theta_2) = \frac{1}{2}(0\cdot 2 + 0\cdot 2) = 0\cdot 2^\circ C$

এবং $\theta_1 - \theta_2 = 5^\circ c$ হলে $(\theta_1 - \theta_2)$ এর আনুপাতিক ত্রুটি 0.2/5 বা 4%।

ত্রুটির সবগুলি উৎস বিবেচনা করলে দেখা যাবে তাপ পরিবাহিতার মানে মোট আনুপাতিক ত্রুটি হবে প্রায় 10%

10.7 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 স্টীম ঘনীভূত হয়ে জল জমে না যায়। এতে B চাকতি সহজেই স্টিমের উষ্ণতায় আসবে।

(ii) স্থিরাবস্থায় সহজে পৌঁছনোর 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 বক্ররেখা থেকে তাপ পরিচলনের হার ভিন্ন হয়ে থাকে। এরফলে 10.3 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 পৃষ্ঠে তাপ ঢুকছে, একই হারে সেই তাপ S এর নিচের পৃষ্ঠ থেকে A চাকতিতে প্রবেশ করছে অর্থাৎ, মূলতত্ত্বে পরীক্ষাধীন

S চাকতির বক্রপৃষ্ঠ থেকে তাপক্ষয়ের হার উপেক্ষা করা হয়েছে। যদি S চাকতির বেধ (d) খুব কম হয় তাহলে তার বক্রপৃষ্ঠ 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

$$2\pi rd \langle\langle \quad (\pi r^2 + 2\pi rD)$$

অথবা, $$d \langle\langle \quad (r+2)/2$$

অর্থাৎ, $r \approx 5cm$ এবং $D \approx 1{\cdot}5cm$ হলে $d\langle\langle 4cm$ 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 10.1 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

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

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

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 $90-95^\circ c$ 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।

10.8 প্রশ্নাবলী

---

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

2. লী-এর পদ্ধতি কুপরিবাহী পদার্থটিকে একটি পাতলা চাকতির আকারে নেওয়া হয়। 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 কী?

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

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

10.9 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 কি ত্রুটি হতে পারে তার পরিমাপ করার পদ্ধতি আলোচিত হয়েছে। এছাড়া, এই পরীক্ষায় 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।

10.10 উত্তরমালা

1. সুপরিবাহী পদার্থের তাপ পরিবাহিতা কুপরিবাহীর তুলনায় $10^2 - 10^3$ গুণ বেশি। 10.2 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. এর উত্তর মন্তব্য 4-এ আলোচনা করা হয়েছে।

3. 10.4 অনুচ্ছেদে পরীক্ষা পদ্ধতির (v) অংশে এ বিষয়টি আলোচিত হয়েছে।

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 ভাল তাপীয় সংযোগ ঘটবে না।

3. 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।

4. 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 চাপ অবস্থায় থাকে এবং চাকতির বেধের ওপর পরিবহণ পদ্ধতিতে তাপ প্রবাহের হার নির্ভরশীল সেজন্য চাপা অবস্থাতেই চাকতির বেধ (d_s) মাপা উচিত।

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।

NOTES

NOTES

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। নতুন 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-I, Salt Lake, Kolkata-700 064
and Printed at : SEVA MUDRAN, 43, Kailash Bose Street, Kolkata-700 006