একক 1 ❑ আপেক্ষিকতার পরীক্ষাগত ভিত্তি

গঠন

1.1 প্রস্তাবনা

আপেক্ষিকতা শব্দটির সঙ্গে যে বিজ্ঞানীর নাম ওতপ্রোতভাবে যুক্ত, তিনি হলেন অ্যালবার্ট আইনস্টাইন। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব (Special Theory of Relativity) ও সাধারণ তত্ত্বের (General Theory of Relativity) জনক আইনস্টাইন হলেও আপেক্ষিকতা বিষয়টির ইতিহাস অনেক পুরানো। পদার্থ বিজ্ঞানের অন্যান্য শাখার সঙ্গে সমন্বয় রক্ষার জন্য আপেক্ষিকতার ধারণায় বিবর্তন ঘটাতে হয়েছে। বিশেষ করে তড়িৎচুম্বকীয় তত্ত্ব, আলোকের বেগ ও অণু-পরমাণু মৌলকণার গতি সম্বন্ধীয় অনুসন্ধান চালাতে গিয়ে আপেক্ষিকতার সনাতন ধারণার অক্ষমতা বার বার ধরা পড়েছে।

আপেক্ষিকতার সঠিক ও সম্পূর্ণ তত্ত্ব প্রতিষ্ঠা করার লক্ষ্যে নানা প্রকল্প গ্রহণ করা হয়েছে। বিজ্ঞানীরা এমন এক বিশেষ জড়ত্বীয় ফ্রেম কল্পনা করেছেন যেটিতে ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎচুম্বকীয় সমীকরণগুলি খাটে। এমনকি তাঁরা 'ইথার' নামে একটি মাধ্যমও কল্পনা করেছিলেন, যা ঐ বিশেষ জড়ত্বীয় ফ্রেমে স্থির থাকে এবং যার মধ্যে আলোকতরঙ্গ তার নির্দিষ্ট বেগ c নিয়ে অগ্রসর হয়। অন্যদিকে এমন মতও অনেকে পোষণ করতেন যে নিউটনীয় গতিবিদ্যার ক্ষেত্রে ব্যবহৃত এক নির্দেশতন্ত্র থেকে অন্য

নির্দেশতন্ত্রে যাওয়ার সমীকরণগুলি কেবলমাত্র স্বল্পগতির ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য, আলোর বেগের সঙ্গে তুলনীয় গতির ক্ষেত্রে সেগুলির সংশোধন আবশ্যক।

এই প্রকল্পগুলির কোনটি সঠিক ও গ্রহণযোগ্য তা নির্ণয়ের জন্য বিজ্ঞানীরা বেশ কিছু পরীক্ষা করেছিলেন। এগুলির মধ্যে উল্লেখযোগ্য হল ইথার-প্রবাহ লক্ষ করার জন্য মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষা, তারকার আপাত কৌণিক চ্যুতি (aberration) পরিমাপের জন্য ব্রাড্‌লির পরীক্ষা এবং গতিশীল মাধ্যম দ্বারা কল্পিত ইথারের পরিবহন সংক্রান্ত ফিজোর পরীক্ষা। এই পরীক্ষাগুলির ফলাফল বিজ্ঞানীদের সঠিক সিদ্ধান্তে আসতে সাহায্য করেছে এবং আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের ভিত্তিকে দৃঢ় করেছে।

এই এককে আমরা উল্লিখিত পরীক্ষাগুলির পশ্চাৎপট আলোচনা করব এবং পরীক্ষাগুলির ফলাফল থেকে কীভাবে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা হয়েছে তা ব্যাখ্যা করব।

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পড়ার পর আপনি যে কাজগুলি করতে পারবেন সেগুলি হল ঃ

- আপেক্ষিকতার সনাতন একটি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- দেখাতে পারবেন যে সাধারণ বলবিদ্যার ক্ষেত্রে গ্যালিলিও রূপান্তরণ সমীকরণ কার্যকরী হয় কিন্তু তড়িৎচুম্বকীয় ঘটনাবলির ক্ষেত্রে তা হয় না।
- মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষার পশ্চাৎপট, যান্ত্রিক ব্যবস্থা ও ফলাফল বর্ণনা করতে পারবেন।
- ইথার টানের প্রকল্প ও বিকিরণ প্রকল্প প্রস্তাবনার কারণ ব্যাখ্যা করতে পারবেন এবং সেগুলি বর্জনের কারণগুলি বিশ্লেষণ করতে পারবেন।

1.2 আপেক্ষিকতার সনাতন তত্ত্ব

পদার্থবিদ্যায় ঘটনা বলতে আমরা বুঝি যা নির্দিষ্ট স্থানে ও নির্দিষ্ট মুহূর্তে সংঘটিত হয়। আকাশে একটি পটকার বিস্ফোরণ, খেলার মাঠে ব্যাট ও বলের সংঘর্ষ, ক্যামেরার ফ্লাশগানের মুহূর্তের জন্য জ্বলে ওঠা, এগুলি এক একটি ঘটনা। যে কোনো ঘটনার স্থান ও কালের নির্দেশ দিতে আমাদের একটি নির্দেশতন্ত্র বা ফ্রেম-এর প্রয়োজন হয়। আপনি যদি সমকোণী কার্টেজীয় নির্দেশতন্ত্র ব্যবহার করতে চান তবে আপনাকে পরস্পর সমকোণে থাকা তিনটি অক্ষ x, y ও z নির্বাচন করতে হবে। উপরন্তু সময়ের বর্ণনা দেওয়ার জন্য আপনি ঠিক কোন্ মুহূর্তটিকে সময়ের শূন্য $(t=0)$ ধরবেন সেটিও ঠিক করতে হবে।

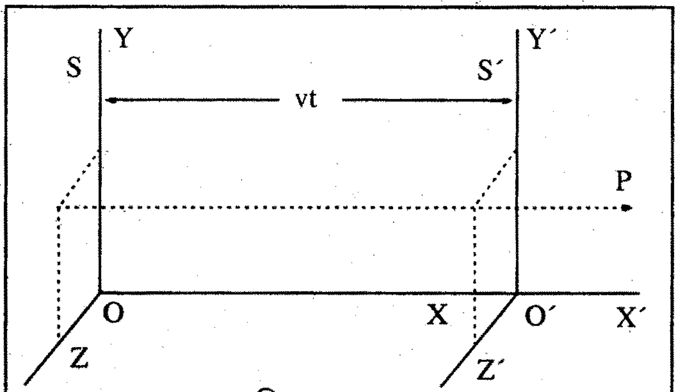
ঘটনার অবস্থানটি আপনি একটি ত্রিমাত্রিক ভেক্টর $\vec{r}$ দিয়েও নির্দেশ করতে পারেন। সেক্ষেত্রে আপনাকে অবস্থান ভেক্টর $\vec{r}\,(=\vec{i}.x+\vec{j}.y+\vec{k}.z$; $\vec{i}, \vec{j}$ ও $\vec{k}$ যথাক্রমে x, y ও z অক্ষ বরাবর একক ভেক্টর) ও t রাশিগুলিকে বিবৃত করতে হবে।

আপনি ইতিপূর্বে জড়ত্বীয় ফ্রেম বলতে কী বোঝায় তা জেনে থাকবেন। জড়ত্বীয় ফ্রেম হল এমন একটি ফ্রেম, যেটিতে নিউটনের গতিসূত্রগুলি কার্যকরী হয়। অর্থাৎ m ভরের কোনো বস্তুকণার অবস্থান ভেক্টর $\vec{r}$ এবং তার ওপর ক্রিয়াশীল বল $\vec{F}$ হলে নিউটনের গতিসূত্র থেকে,

$$\vec{F} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = m\frac{d^2\vec{u}}{dt} = m\vec{a} \qquad (1.1)$$

যেখানে বস্তুকণার বেগ = $\vec{u}$ বা $\frac{d\vec{r}}{dt}$ এবং ত্বরণ = $\vec{a}$ বা $\frac{d\vec{u}}{dt}$

বলা বাহুল্য, $\vec{F} = 0$ হলে $\vec{a} = 0$ হয় এবং কণাটি স্থিতিশীল থাকে অথবা সমবেগে সরলরেখায় চলতে থাকে। এই জড়ত্বীয় ফ্রেমটিকে S ফ্রেম নামে নির্দেশ করা যাক। ধরুন এই ফ্রেমের মূল বিন্দুটি O (চিত্র 1.1)।



চিত্র 1.1

এবার আপনি আরও একটি ফ্রেম S′ কল্পনা করুন, যার x′, y′ ও z′ অক্ষগুলি যথাক্রমে x, y ও z অক্ষগুলির সমান্তরাল। S ও S′ ফ্রেম দুটিতে সময়ের পরিমাপ একই সঙ্গে শুরু হলে t = t′। ধরে নিন t = t′ = 0 মুহূর্তে S ও S′ ফ্রেমগুলি সম্পাতিত ছিল, অর্থাৎ ঐ মুহূর্তে x = x′, y = y′ এবং z = z′। এবার কল্পনা করুন S′ ফ্রেমটি S′ ফ্রেমের সাপেক্ষে x বা x′ অক্ষ অভিমুখে V সমবেগে চলনশীল। কোনো একটি ঘটনা যদি S ফ্রেমে x, y, z বিন্দুতে t সময়ে ঘটে থাকে, তবে S′ ফ্রেমে ঘটনাটির স্থানকালাঙ্ক কী হবে? 1.1 চিত্র থেকে বোঝা যায়, যেহেতু S′ ফ্রেমটি t সময়ে S-এর সাপেক্ষে x-অভিমুখে Vt-দূরত্ব অগ্রসর হয়েছে, x′ এর মান x অপেক্ষা সমপরিমাণ কম হবে। y′ ও z′ এর মান যথাক্রমে y এবং z থেকে পৃথক হবে না এবং আমাদের অঙ্গীকার অনুযায়ী t ও t′ সমমান। এখন আমরা S′ ও S ফ্রেমের স্থানকালাঙ্কের রূপান্তরণ সমীকরণগুলি লিখতে পারি ঃ

$$x' = x - Vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t \qquad (1.2)$$

S ফ্রেমে (x, y, z) স্থানাঙ্কে P বিন্দুতে অবস্থিত m ভরের একটি বস্তুকণা যদি $\vec{u}$ বেগে চলনশীল হয় তবে S′ ফ্রেমে তার বেগ ও ত্বরণ কত হবে? 1.2 সম্পর্কগুলি থেকে পাবেন

$$u'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx}{dt} - V = u_x - V$$

$$u'_y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{dt} = u_y, \quad u'_z = \frac{dz'}{dt'} = \frac{dz}{dt} = u_z$$

এখানে S ফ্রেমে বস্তুকণার বেগ $\vec{u}$-এর উপাংশগুলি u_x, u_y ও u_z এবং S' ফ্রেমে বেগ $\vec{u}'$-এর উপাংশগুলি u'_x, u'_y ও u'_z।

এবার বস্তুকণাটির ত্বরণের হিসাব নেওয়া যাক। S ও S' ফ্রেমে ত্বরণ যথাক্রমে $\vec{a}$ ও $\vec{a}'$ হলে ত্বরণের উপাংশগুলির মধ্যে সম্পর্ক ঃ

$$a'_x = \frac{du'_x}{dt'} = \frac{du_x}{dt} = a_x, \text{ কেননা } V = \text{ধ্রুবক}$$

একই উপায়ে, $a'_y = a_y, a'_z = a_z$। অর্থাৎ $\vec{a}' = \vec{a}$।

এখন 1.1 সমীকরণ ব্যবহার করে $\vec{F} = m\vec{a} = m\vec{a}'$

অর্থাৎ, S' ফ্রেমেও নিউটনের গতিসূত্র সমানভাবে প্রযোজ্য। এ থেকে আমরা এই সিদ্ধান্তে পৌঁছোতে পারি যে একটি জড়ত্বীয় ফ্রেমের সাপেক্ষে সমবেগে চলনশীল অন্য যে কোনো ফ্রেমও জড়ত্বীয়।

আপনি প্রশ্ন করতে পারেন, যে বল $\vec{F}$ কি এক ফ্রেম থেকে অন্য ফ্রেমে রূপান্তরণের ফলে পরিবর্তিত হয়, অর্থাৎ S ফ্রেমে বল $\vec{F}$ যদি S' ফ্রেমে $\vec{F}'$ বলে মনে হয় তবে কি $\vec{F} = \vec{F}'$ বলা যায়? আমরা জানি সকল বলই দূরত্ব, আপেক্ষিক বেগ ও সময়ের অবকাশের উপর নির্ভরশীল। ধরুন P ও Q দুটি বিন্দু যাদের স্থানাঙ্ক S ফ্রেমে যথাক্রমে $\vec{r}_P(x_P, y_P, z_P)$ এবং $\vec{r}_Q(x_Q, y_Q, z_Q)$ এবং S' ফ্রেমে যথাক্রমে $\vec{r}'_P(x'_P, y'_P, z'_P)$ ও $\vec{r}'_Q(x'_Q, y'_Q, z'_Q)$। P থেকে Q-এর দূরত্ব S' ফ্রেমে

$$\vec{r}'_Q - \vec{r}'_P = \vec{i}(x'_Q - x'_P) + \vec{j}(y'_Q - y'_P) + \vec{k}(z'_Q - z'_P)$$

$$= \vec{i}(x_Q - Vt - x_P + Vt) + \vec{j}(y_Q - y_P) + \vec{k}(z_Q - z_P)$$

$$= \vec{i}(x_Q - x_P) + \vec{j}(y_Q - y_P) + \vec{k}(z_Q - z_P)$$

$= \vec{r}_Q - \vec{r}_P$ অর্থাৎ S ও S' ফ্রেমে বিন্দু দুটির দূরত্ব সমান। অনুরূপ যুক্তি দিয়ে দেখানো যায় যে দুটি মুহূর্তের মধ্যে সময়ের ব্যবধানও দুই ফ্রেমে সমান। এবং P ও Q বিন্দুর মধ্যে আপেক্ষিক বেগ, যা S' ফ্রেমে $\frac{d}{dt}(\vec{r}'_Q - \vec{r}'_P)$ এবং S ফ্রেমে $\frac{d}{dt}(\vec{r}_Q - \vec{r}_P)$, দিক ও মানের দিক দিয়ে সমান। সুতরাং S ও S' ফ্রেমে রূপান্তরণের ফলে বলও অপরিবর্তিত থাকে। 1.2 সমীকরণগুলির দ্বারা রূপান্তরণকে গ্যালিলিয়ো রূপান্তরণ বলে।

এখন আমরা সনাতন আপেক্ষিকতার মূলনীতিটি লিখতে পারি ঃ

বলবিদ্যার মূলসূত্রগুলি সব জড়ত্বীয় ফ্রেমে একই রূপে লেখা যায়। যে সূত্র একটি জড়ত্বীয় ফ্রেমে সত্য হয় সেটি অন্য জড়ত্বীয় ফ্রেমে একইভাবে সত্য হয়।

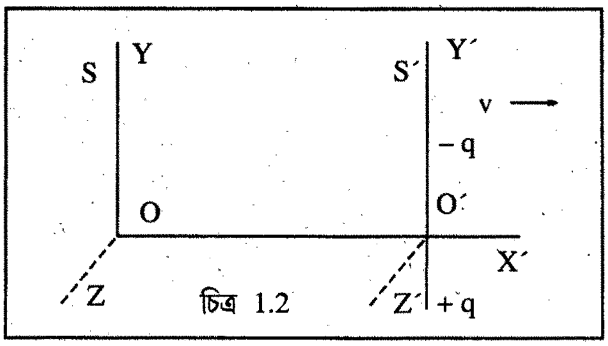
উপরের মূলনীতিটি গ্যালিলিয়োর আপেক্ষিকতা তত্ত্ব নামে পরিচিত। একটি উদাহরণ থেকে নীতিটি স্পষ্ট হবে। ধরুন একটি গাছ থেকে একটি ফল মাটিতে পড়ল। মাটিতে দাঁড়িয়ে থাকা পর্যবেক্ষকের কাছে মনে হবে ফলটির প্রাথমিক বেগ শূন্য এবং সেটি 'g' ত্বরণে উল্লম্ব সরলরেখায় মাটিতে পৌঁছোল। অপর দিকে কোনো পর্যবেক্ষক যদি সমবেগে চলতে থাকা গাড়িতে বসে থাকেন, তাঁর মনে হবে ফলটি গাড়ির বেগের ঠিক বিপরীত বেগে অনুভূমিক দিকে যাত্রা শুরু করে অধিবৃত্তাকার পথে মাটিতে এসে পড়ল। উভয়ক্ষেত্রেই নিউটনের গতিসূত্র যথাযথভাবে পালিত হল।

আপনি নিশ্চয়ই বুঝতে পারছেন যে সব জড়ত্বীয় ফ্রেমের গতিসূত্রগুলি একইভাবে পালিত হয়, অর্থাৎ কোনো জড়ত্বীয় ফ্রেমকেই আলাদা করে পরম জড়ত্বীয় ফ্রেম বলা যায় না। অপরদিকে পরম জড়ত্বীয় ফ্রেম বলে কিছু না থাকায় পরম স্থিতি বা পরম গতি বলেও কিছু হয় না। বস্তুত, কোনো জড়ত্বীয় ফ্রেমের মধ্যে থেকে সেটি স্থির আছে না সমবেগে চলছে, তা বোঝাও সম্ভব নয়, কেননা স্থির থাকা বা গতিশীল থাকা কেবলমাত্র অন্য কোনো ফ্রেমের সাপেক্ষেই তাৎপর্যপূর্ণ হতে পারে।

1.3 সনাতন আপেক্ষিকতা ও তড়িৎচুম্বকীয় ঘটনাবলি

আগের অংশটিতে আপনি দেখেছেন যান্ত্রিক ঘটনাবলির ক্ষেত্রে সনাতন আপেক্ষিকতা সঠিক বলে মনে হয়। এখন দেখা যাক তড়িৎচুম্বকীয় ঘটনাবলির ক্ষেত্রেও সনাতন আপেক্ষিকতার ধারণা প্রযোজ্য হয় কিনা।

ধরা যাক আগের মতো S ও S′ ফ্রেম দুটির মধ্যে S′ S-এর সাপেক্ষে x বা x′ অক্ষ অভিমুখে গতিশীল। s′ ফ্রেমে y′ অক্ষের উপর $y' = a$ ও $y' = -a$ বিন্দু দুটিতে যথাক্রমে $-q$ ও q তড়িৎ আধান রাখা আছে (চিত্র 1.2)। S′ ফ্রেমে স্থির আছেন এমন কোনো পর্যবেক্ষক O′ বিন্দুতে y′ অক্ষ অভিমুখী একটি তড়িৎক্ষেত্র লক্ষ করবেন। কিন্তু S ফ্রেমে স্থির আছেন এমন পর্যবেক্ষকের কাছে আধান দুটি গতিশীল মনে হবে অর্থাৎ $+q$ আধানটি x′ অভিমুখে এবং $-q$ আধানটি তার বিপরীত দিকে, অর্থাৎ $-x'$ অভিমুখে তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করবে। এই দুটি তড়িৎপ্রবাহের ফলে z′ দিক অভিমুখে একটি চৌম্বকক্ষেত্র লক্ষ করা যাবে। স্পষ্টই বোঝা



চিত্র 1.2

যায় যে S' ও S ফ্রেমে স্থির আছেন এমন দুই পর্যবেক্ষক সম্পূর্ণ ভিন্ন ভৌত অবস্থা লক্ষ করবেন। অর্থাৎ সনাতন আপেক্ষিকতার তত্ত্ব এক্ষেত্রে খাটবে না।

আর একটি উদাহরণ হিসাবে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের সমীকরণের উপর গ্যালিলিয়ো রূপান্তরণের প্রভাব লক্ষ করা যেতে পারে। এই সমীকরণটির রূপ ঃ

$$\nabla^2 f - \frac{1}{c^2}\frac{\delta^2 f}{\delta t^2} = \frac{\delta^2 f}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 f}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 f}{\delta z^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\delta^2 f}{\delta t^2} = 0 \qquad (1.3)$$

1.2 সমীকরণ ব্যবহার করে পাবেন

$$\frac{\delta f}{\delta x} = \frac{\delta f}{\delta x'}\cdot\frac{\delta x'}{\delta x} + \frac{\delta f}{\delta y'}\cdot\frac{\delta y'}{\delta x} + \frac{\delta f}{\delta z'}\cdot\frac{\delta z'}{\delta x} + \frac{\delta f}{\delta t'}\cdot\frac{\delta t'}{\delta x} = \frac{\delta f}{\delta x};$$ অনুরূপভাবে

$$\frac{\delta f}{\delta y} = \frac{\delta f}{\delta y'},\ \frac{\delta f}{\delta z} = \frac{\delta f}{\delta z'}\ ।$$

$$\frac{\delta f}{\delta t} = \frac{\delta f}{\delta x'}\ \frac{\delta x'}{\delta t} + \frac{\delta f}{\delta y'}\ \frac{\delta y'}{\delta t} + \frac{\delta f}{\delta z'}\ \frac{\delta z'}{\delta t} + \frac{\delta f}{\delta t'}\frac{\delta t'}{\delta t}$$

$$= -V\frac{\delta f}{\delta x'} + \frac{\delta f}{\delta t'}$$

$$\therefore\ \frac{\delta^2 f}{\delta x^2} = \frac{\delta^2 f}{\delta x'^2},\ \frac{\delta^2 f}{\delta y^2} = \frac{\delta^2 f}{\delta y'^2},\ \frac{\delta^2 f}{\delta z^2} = \frac{\delta^2 f}{\delta z'^2},\ \frac{\delta^2 f}{\delta t^2} = V^2\frac{\delta^2 f}{\delta x'^2} + \frac{\delta^2 f}{\delta t'^2} - 2V\frac{\delta^2 f}{\delta x'\delta t'}$$

সুতরাং তরঙ্গ সমীকরণটির রূপ হবে ঃ

$$\frac{\delta^2 f}{\delta x'^2} + \frac{\delta^2 f}{\delta y'^2} + \frac{\delta^2 f}{\delta z'^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\delta^2 f}{\delta t'^2} - \frac{1}{c^2}\left(V^2\frac{\delta^2 f}{\delta x'^2} - 2V\frac{\delta^2 f}{\delta x'\delta t'}\right) = 0$$

বা, $$\nabla'^2 f - \frac{1}{c^2}\frac{\delta^2 f}{\delta t'^2} = \frac{1}{c^2}\left(V^2\frac{\delta^2 f}{\delta x'^2} - 2V\frac{\delta^2 f}{\delta x'\delta t'}\right) \qquad (1.4)$$

উপরের সমীকরণটির ডান দিক শূন্য নয়, অর্থাৎ গ্যালিলিয়ো রূপান্তরণের ফলে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের রূপ বদলে যায়।

গ্যালিলিয়ো রূপান্তরণ সূত্রগুলিকে যদি তড়িৎচুম্বকীয় ঘটনাবলির ক্ষেত্রে যথাযথ বলে মানা হয় তবে নিশ্চয়ই এমন একটি বিশেষ ফ্রেম থাকবে যাতে ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎচুম্বকীয় সমীকরণগুলি (যেগুলির সম্বন্ধে আপনি EPH 09-এর দশম এককে পড়েছেন) সত্য হবে এবং তার ফলে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের সমীকরণও (1.3) প্রযোজ্য হবে। এই বিশেষ নির্দেশতন্ত্রে আলোকের বেগ শূন্য মাধ্যমে $(\varepsilon_0\mu_0)^{-\frac{1}{2}} = c$

হতে দেখা যাবে এবং এই নির্দেশতন্ত্রের (S) সাপেক্ষে যদি অন্য কোনও নির্দেশতন্ত্রের (S´) বেগ υ হয় তবে ওই S নির্দেশতন্ত্রে আলোকের শূন্য মাধ্যমে বেগ হবে $c - \upsilon$ (এখানে c ও υ ভেক্টর রাশি) যার মান $c' = (c^2 + \upsilon^2 - 2c\upsilon \cos\theta)^{\frac{1}{2}}$, θ = S ফ্রেমে আলোকের বেগ ও S´ ফ্রেমের বেগের মধ্যে কোণ। এই বিশেষ নির্দেশতন্ত্রটি হবে সমগ্র বিশ্বের পরম নির্দেশতন্ত্র বা পরম ফ্রেম (absolute frame of reference)।

তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের তত্ত্ব প্রতিষ্ঠিত হওয়ার আগে বিজ্ঞানীরা শব্দ তরঙ্গের মতো স্থিতিস্থাপক তরঙ্গের সঙ্গেই পরিচিত ছিলেন। এ ধরনের তরঙ্গ সঞ্চারিত হতে একটি স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের প্রয়োজন। বিজ্ঞানীরা কল্পনা করলেন আলোক তরঙ্গও কোনো এক সর্বব্যাপী, স্বচ্ছ ও অত্যন্ত লঘু মাধ্যমে স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ হিসাবেই সঞ্চারিত হয়। এই কাল্পনিক মাধ্যমের নাম দেওয়া হয়েছিল আলোকবাহী ইথার (luminiferous ether)। এই মাধ্যমের ঘনত্ব অত্যন্ত কম এবং স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক অত্যন্ত বেশি হওয়া প্রয়োজন কেননা আলোকতরঙ্গের বেগ আমাদের জানা অন্যান্য স্থিতিস্থাপক তরঙ্গের বেগের তুলনায় বহুগুণ বেশি। আপনি নিশ্চয়ই উপলব্ধি করছেন যে কাল্পনিক মাধ্যমটি আমাদের পরিচিত জগতের সব উপাদান থেকে একেবারেই আলাদা ধর্মের। এই ইথার মাধ্যমকেই সেই পরম ফ্রেম বলে ধরা হল, যে ফ্রেমে আলোর বেগ c।

ইথার মাধ্যমের অস্তিত্ব কীভাবে প্রতিপন্ন করা যায়? পৃথিবী যখন বার্ষিক গতিতে সূর্যের চারিদিকে ঘোরে তখন ইথার মাধ্যমের সাপেক্ষে পৃথিবীর গতি থাকাই স্বাভাবিক। যদি এমনও হয় যে কোনো মুহূর্তে পৃথিবী ইথারের সাপেক্ষে স্থির অবস্থায় এসেছে তবে ছয় মাস পরে যখন বার্ষিক গতির ফলে পৃথিবীর বেগ ঠিক বিপরীতমুখী হবে তখন ইথারের সাপেক্ষে পৃথিবীর বেগ বার্ষিক গতির বেগের দ্বিগুণ হবে। ইথারের সাপেক্ষে আপেক্ষিক বেগের ফলে ভূপৃষ্ঠস্থ পর্যবেক্ষকের কাছে আলোর বেগে তারতম্য দেখা যাবে। এই তারতম্য লক্ষ করার জন্য বিজ্ঞানীরা যে সব পরীক্ষা করেছিলেন, 1887 খ্রিস্টাব্দে মাইকেলসন ও মর্লির পরীক্ষা সেগুলির মধ্যে সবচেয়ে বিখ্যাত। পরবর্তী অংশে আমরা এই পরীক্ষার পদ্ধতি ও ফলাফল নিয়ে আলোচনা করব। তার আগে নীচের অনুশীলনীটির উত্তর দিতে চেষ্টা করুন।

অনুশীলনী 1

নীচের কোন্ কোন্ নির্দেশতন্ত্রকে জড়ত্বীয় ফ্রেম বলা যায়?

[i] সমগতিতে সরলরেখায় চলনশীল ট্রেনের কামরা,

[ii] স্থির অবস্থা থেকে নামতে থাকা লিফ্ট,

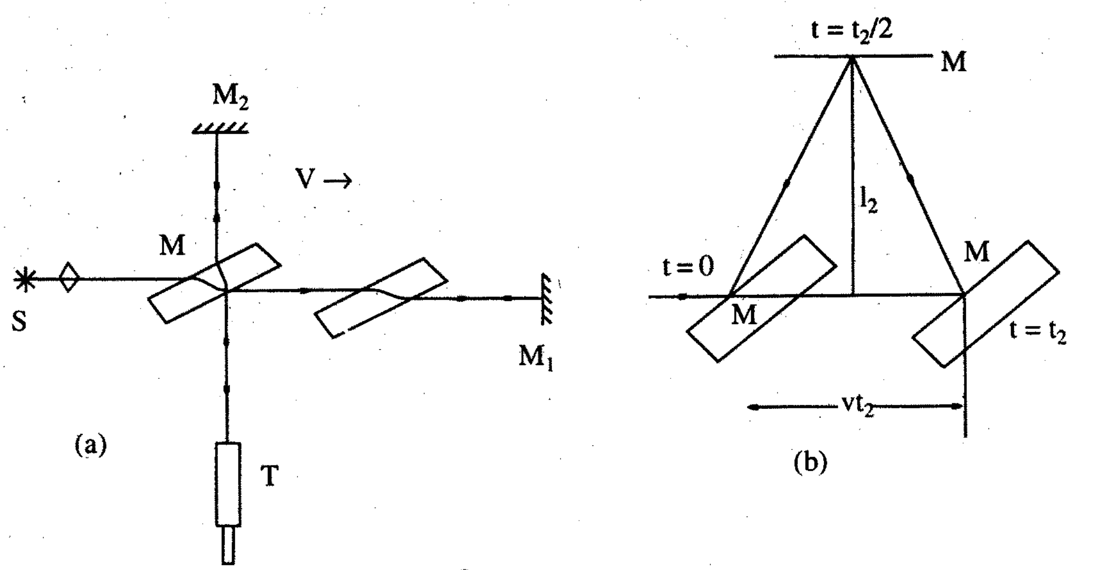
[iii] সমান বিস্তারে দুলতে থাকা দোলনা,

[iv] পৃথিবী থেকে চন্দ্রে সমগতিতে গমনরত মহাকাশযান।

1.4 মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষা — ইথারের অনুসন্ধান

আপনি নিশ্চয়ই জানেন যে আলোর বেগ নির্ণয় করতে হলে নির্দিষ্ট দুই বিন্দুর মধ্যে আলোর যাতায়াতের মোট সময় নির্ণয় করতে হয় এবং উভয় দিকে মোট অতিক্রান্ত দূরত্বকে ওই মোট সময় দিয়ে ভাগ করতে হয়। আলোর গতি যদি ইথারের মধ্যে পৃথিবীর গতিবেগের সমান্তরাল হয় তবে নির্দিষ্ট দূরত্ব যাতায়াতে যে সময় লাগে, আলোর গতি পৃথিবীর গতিবেগের সঙ্গে সমকোণে থাকলে যাতায়াতের মোট সময় তার থেকে ভিন্ন হবে। এবং এই দুই সময়ের পার্থক্য পরিমাপ করে ইথারের মধ্যে পৃথিবীর বেগ নির্ণয় করা যাবে। মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষায় এই সময়ের পার্থক্যটি নির্ণয়ের চেষ্টা করা হয়েছিল।

পরীক্ষায় ব্যবহৃত যান্ত্রিক ব্যবস্থাটি মূলত একটি মাইকেলসন ইন্টার-ফেরোমিটার (চিত্র 1.3a)। একবর্ণী আলোর উৎস S থেকে একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ কাচের আয়তফলক M-এর উপর 45° কোণে আপতিত



চিত্র 1.3

হয়। আয়তফলকের পিছনের তল অর্ধপ্রতিফলক সমতল দর্পণ হিসাবে কাজ করে। এর ফলে আপতিত রশ্মির অর্ধেক তীব্রতার একটি অংশ M_1 দর্পণে আপতিত হয় এবং M_1-এ প্রতিফলনের পর আবার M ফলকে প্রতিলিত হয়ে পর্যবেক্ষকের টেলিস্কোপে T প্রবেশ করে। আপতিত রশ্মির অপর অংশ M_2 দর্পণ আপতিত ও প্রতিফলিত হওয়ার পর M ফলকের মধ্য দিয়ে সঞ্চারিত হয়ে টেলিস্কোপে পৌঁছোয়। M_1 ও M_2-তে প্রতিফলিত হওয়া রশ্মিগুচ্ছগুলি মিলিত হয়ে টেলিস্কোপের ফোকাসতলে ব্যতিচার পটি

(interference fringe) সৃষ্টি করে। দেখা যাক, M ফলকের প্রতিফলক তল থেকে আলোকরশ্মির M_1 অথবা M_2 দর্পণে যেতে এবং ফিরে আসতে কত সময় লাগে।

ধরা যাক ইন্টারফেরোমিটার যন্ত্রটি MM_1 রশ্মির সমান্তরালে V বেগে ইথারের মধ্য দিয়ে ছুটে চলেছে। ইথার মাধ্যমের সাপেক্ষে আলোর বেগ c ধরে নেওয়া হয়েছে। সুতরাং যন্ত্রটির সাপেক্ষে আলোর বেগ M থেকে M_1-এ যাওয়ার সময় $c-V$ এবং M_1 থেকে M-এ ফিরে আসার সময় $c+V$ হবে। যদি MM_1 দূরত্ব $= l_1$ হয় তবে মোট সময় লাগবে

$$t_1 = \frac{l_1}{c-V} + \frac{l_1}{c+V} = l_1 \cdot \frac{2c}{c^2-V^2} = \frac{2l_1}{c}\left(\frac{1}{1-V^2/c^2}\right) \qquad \text{[চিত্র 1.5]}$$

এবার দেখা যাক আলোকরশ্মির M থেকে M_2-তে গিয়ে ফিরে আসতে কত সময় লাগে। ধরুন এই সময়টি হল t_2 এবং MM_2 দূরত্ব $= l_2$। যদি আলোকরশ্মি $t = 0$ সময়ে M ফলকে প্রতিফলিত হয় তবে সেটি $t_2/2$ সময়ে M_2 দর্পণে পৌঁছাবে (চিত্র 1.3b)। এই সময়ে $t = 0$ মুহূর্তের অবস্থানের তুলনায় $Vt_2/2$ পরিমাণ সরে যাবে এবং আলোকরশ্মিকে মোট $\left[l_2^2 + \left(\frac{Vt_2}{2}\right)^2\right]^{1/2}$ পরিমাণ পথ অতিক্রম করতে হবে। M_2 থেকে M ফলকে ফিরে আসতেও একই দৈর্ঘ্যের পথ অতিক্রম করতে হবে। তবে এই পথগুলি V-এর লম্ব অভিমুখে হওয়ায় আলোকের বেগ c থাকবে; ইথারের মধ্যে ইন্টারফেরোমিটারের গতির কোনো প্রভাব থাকবে না। সুতরাং এক্ষেত্রে, মোট অতিক্রান্ত দূরত্ব

$$ct_2 = 2\left[l_2^2 + \left(\frac{Vt_2}{2}\right)^2\right]^{1/2}$$

$$\therefore \quad (ct_2)^2 = \Delta l_2^2 + (Vt_2)^2 \quad \text{বা,} \quad t_2 = \frac{2l_2}{\sqrt{c^2-V^2}} = \frac{2l_2}{c}\frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}} \qquad \text{[চিত্র 1.6]}$$

লক্ষ করুন t_1 ও t_2 যথাক্রমে $\frac{2l_1}{c}$ ও $\frac{2l_1}{c}$ থেকে পৃথক হলেও পার্থক্যগুলি $\frac{V}{c}$-এর দ্বিতীয় ঘাতের সঙ্গে সমানুপাতী। তবে l_1 ও l_2 সমান হলেও t_1 ও t_2 সমান হত না। দুই আলোকরশ্মির যাতায়াতের সময় দুটির মধ্যে পার্থক্য

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2}{c}\left[\frac{l_2}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}} - \frac{l_1}{1-\frac{V^2}{c^2}}\right] \qquad \text{[চিত্র 1.7]}$$

এখন যদি ইন্টারফেরোমিটার যন্ত্রটিকে 90° কোণে ঘোরানো হয় তবে l_1 ও l_2 দৈর্ঘ্য দুটি ভূমিকার অদল-বদল ঘটবে, অর্থাৎ l_1 হবে বেগের অভিলম্ব দিকে, এবং l_2 হবে বেগের অভিমুখে M ফলক থেকে দর্পণের দূরত্ব। এখন দুটি আলোকরশ্মির যাতায়াতের সময়ের পার্থক্য হবে

$$\Delta t' = t_2' - t_1' = \frac{2}{c}\left[\frac{l_2}{1-\frac{V^2}{c^2}} - \frac{l_1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}\right] \qquad \text{[চিত্র 1.8]}$$

আপনি বুঝতেই পারছেন যে Δt এবং $\Delta t'$ সমান নয়। যন্ত্রটির 90° ঘূর্ণনের ফলে দুই আলোকরশ্মির যাতায়াতের সময়ের পার্থক্যের যে পরিবর্তন হয় তা হল

$$\Delta t' - \Delta t = \frac{2}{c}\left[\frac{l_2 + l_1}{1-\frac{V^2}{c^2}} - \frac{l_2 + l_1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}\right]$$

$$= \frac{2(l_1 + l_2)}{c}\left[(1-\beta^2)^{-1} - (1-\beta^2)^{-\frac{1}{2}}\right] \quad \text{যেখানে } \beta = \frac{V}{c} << 1$$

$$= \frac{2(l_1 + l_2)}{c}\left[1 + \beta^2 - 1 - \frac{1}{2}\beta^2\right]$$ [দ্বিপদ সূত্র অনুযায়ী, β রাশির উচ্চতর ঘাত উপেক্ষা করে]

$$= \frac{l_1 + l_2}{c}.\beta^2$$

সময়ের এই পার্থক্যের ফলে ব্যতিচারী আলোকরশ্মি দুটির দশাপার্থক্যও পরিবর্তিত হবে, অর্থাৎ ব্যতিচার পটিগুলি কিছুটা সরে যাবে। কতগুলি ব্যতিচার পটি সরে যাবে, তার একটি হিসাব করা যাক। আপতিত আলোকের তড়িৎচুম্বকীয় কম্পনের পর্যায়কাল = T, তরঙ্গদৈর্ঘ্য = λ হলে সরে যাওয়া ব্যতিচার পটির সংখ্যা হবে $n = \frac{l_1 + l_2}{cT}.\beta^2 = \frac{l_1 + l_2}{\lambda}\beta^2$ । [চিত্র 1.9]

পৃথিবী $365\frac{1}{4}$ দিনে 1.496×10^8 km ব্যাসার্ধের কক্ষপথে সূর্যকে প্রদক্ষিণ করে। সুতরাং কক্ষপথে পৃথিবীর বেগ $V = \frac{2\pi \times 1.496 \times 10^8}{365.25 \times 24 \times 60 \times 60} \approx 30$ km/s

$$\therefore \quad \beta = \frac{V}{c} = \frac{30}{3 \times 10^5} = 10^{-4}$$

মাইকেলসন ও মর্লির 1887 খ্রিস্টাব্দের পরীক্ষায় $(l_1 + l_2)$-এর মান ছিল 22 m। আলোর সুসঙ্গতি (coherence) বজায় রাখার জন্য $l_1 = l_2 \simeq 11$ m নেওয়া হয়েছি।

ব্যবহৃত একবর্ণী আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ছিল 550 nm। এই মানগুলি 1.9

সমীকরণে বসালে পাওয়া যায় ঃ

$$n = \frac{22}{550 \times 10^{-9}} \times 10^{-8} = 0.4$$

অর্থাৎ একটি ব্যতিচার পটির 0.4 অংশ সরে যাওয়া প্রত্যাশিত ছিল। এটি খুব বেশি না হলেও মাইকেলসন-মর্লির যন্ত্রটিতে ব্যতিচার পটির 0.01 অংশের বেশি সরলেই তা ধরা পড়ত। কিন্তু বিজ্ঞানীরা আশ্চর্যের সঙ্গে লক্ষ করলেন যে ব্যতিচার পটির কোনো সরণ ঘটল না।

আপনি নিশ্চয়ই এই প্রশ্ন তুলতে পারেন যে হয়তো ঠিক পরীক্ষার সময়টিতেই ইন্টারফেরোমিটার যন্ত্রটি ইথারের সাপেক্ষে স্থির ছিল। এবং সেজন্যই ব্যতিচার পটির কোনো সরণ দেখা যায়নি। বিজ্ঞানীরা এই বিষয়টি অনুসন্ধানের জন্য দিনে-রাতে এবং বিভিন্ন ঋতুতে পরীক্ষাটি করে দেখেছিলেন, কেননা পৃথিবীর আহ্নিক গতির জন্য যন্ত্রটির বেগ মধ্যাহ্নে ও মধ্যরাত্রে বিপরীত হবে এবং পৃথিবীর বার্ষিক গতির জন্য ওই বেগ শীত-গ্রীষ্মের মতো দুই বিপরীত ঋতুতে বিপরীত হবে। কিন্তু কোনো সময়েই ব্যতিচার পটির কোনো সরণ দেখা গেল না।

পরবর্তীকালে এই পরীক্ষাটি আরও সূক্ষ্মভাবে করা হয়েছে। $(l_1 + l_2)$ দৈর্ঘ্যের মান বাড়িয়ে, দৃশ্যমান আলোর পরিবর্তে মাইক্রোওয়েভ ব্যবহার করে বিজ্ঞানীরা সুনিশ্চিত হয়েছেন যে ব্যতিচার পটির কোনো সরণ ঘটে না।

মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষার এই নঞর্থক ফল কীভাবে ব্যাখ্যা করা যায়? এর একটি ব্যাখ্যা হতে পারে, সমস্ত জড়ত্বীয় ফ্রেমে শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ সব দিকেই সমান বলে ধরে নেওয়া। কিন্তু এতে গ্যালিলিয়ো রূপান্তরণকে অস্বীকার করতে হয়, ইথার ফ্রেমের বৈশিষ্ট্যও বজায় থাকে না। এজন্য এই ব্যাখ্যা বিজ্ঞানীদের কাছে গ্রহণযোগ্য হয়নি। এবার আমরা আর একটি ব্যাখ্যা সম্বন্ধে আলোচনা করব।

1.4.1 লরেন্‌ৎস্-ফিৎস্‌গেরাল্ড সংকোচন প্রকল্প (Lorentz-Fitggerald Contraction Hypothesis)

মাইকেলসন্-মর্লি পরীক্ষার নঞর্থক ফল ব্যাখ্যা করার জন্য ফিৎস্‌গেরাল্ড (1891) ও লরেন্‌ৎস একটি প্রকল্প উপস্থাপিত করেন। এটি হল স্থিতিশীল ইথারের মধ্য দিয়ে V বেগে গতিশীল যে কোনো বস্তুর বেগের দিক বরাবর দৈর্ঘ্য $\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$ গুণ সংকুচিত হয়। বেগের দিকের লম্ব বরাবর কোনো দৈর্ঘ্য অবশ্য

পরিবর্তিত হয় না। এই প্রকল্প মেনে নিলে 1.5 সমীকরণে l_1 দৈর্ঘ্যের স্থানে $l_1\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}$ বসাতে হবে। t_1-এর পরিবর্তিত মান হবে $\frac{2l_1}{c\sqrt{1-\beta^2}}\left(\beta=\frac{V}{c}\right)$। t_2 সময়ের কোনো পরিবর্তন হবে না কেননা l_2 দৈর্ঘ্যটিকে আমরা ইথারের মধ্যে ইন্টারফেরোমিটারের বেগের অভিলম্ব দিকে নিয়েছি। সুতরাং $\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2}{c}\frac{l_2-l_1}{\sqrt{1-\beta^2}}$। ইন্টারফেরোমিটারটিকে 90° কোণে ঘোরানো হলে l_2 দৈর্ঘ্যের সংকোচন ঘটবে কিন্তু l_1 অপরিবর্তিত থাকবে। $\Delta t'$-এর মান হবে $\frac{2}{c}\frac{l_2-l_1}{\sqrt{1-\beta^2}}$, অর্থাৎ Δt-এর সমান। সুতরাং যন্ত্রটিকে 90° কোণে ঘোরানো হলে ব্যতিচার পটির কোনো সরণ দেখা যাবে না।

আপাতদৃষ্টিতে লরেন্ৎস-ফিৎস্‌গেরাল্ড সংকোচন ধরে নিয়ে মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষার ফলের ব্যাখ্যা করা গেলেও এটির বিরুদ্ধে সুস্পষ্ট প্রমাণ দেখা গেল। আপনি আগেই দেখেছেন দুটি আলোকরশ্মি টেলিস্কোপে এসে পৌঁছোনোর মধ্যে সময়ের প্রভেদ $\Delta t = \frac{2}{c}\frac{l_2-l_1}{\sqrt{1-\beta^2}}$

যেহেতু $\beta^2 << 1$, আমরা লিখতে পারি $\Delta t = \frac{2(l_2-l_1)}{c}\left(1+\frac{1}{2}\beta^2\right)$

যদি কোনো কারণে ইথারের মধ্যে যন্ত্রটির বেগের পরিবর্তন হয় তবে Δt-এর মানেও পরিবর্তন ঘটবে। ধরে নিন ঐ বেগ V' হলে সময়ের প্রভেদ $\Delta t'$ হয়। সেক্ষেত্রে

$$\Delta t' = \frac{2(l_2-l_1)}{c}\left(1+\frac{1}{2}\beta'^2\right),\ \left(\beta'=\frac{V'}{c}\right)$$

Δt ও $\Delta t'$ পৃথক হওয়ায় $\Delta n = c\frac{\Delta t'-\Delta t}{\lambda}$ সংখ্যক ব্যতিচার পটির সরণ ঘটবে।

Δt ও $\Delta t'$-এর মান বসিয়ে পাবেন :

$$\Delta n = \frac{c}{\lambda}\cdot\frac{2(l_2-l_1)}{c}\left(1+\frac{\beta^2}{2}-1-\frac{\beta'^2}{2}\right)$$

$$= \frac{l_2-l_1}{\lambda}(\beta^2-\beta'^2)$$ [চিত্র 1.10]

মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষায় ব্যতিচার পটির এ জাতীয় সরণ লক্ষ করা সম্ভব ছিল না কেননা তাঁদের ব্যবহৃত ইন্টারফেরোমিটারে l_1 ও l_2 প্রায় সমান ছিল। কেনেডি ও থর্নডাইক (1932) এমন একটি ইন্টারফেরোমিটার ব্যবহার করে পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি করেন যার বাহুগুলি অসমান ছিল এবং দুই

ব্যতিচারী রশ্মির পথ-পার্থক্য ছিল প্রায় 16 সেমি। এর চেয়ে বেশি পথ-পার্থক্য রাখা সম্ভব ছিল না কেননা তাহলে দুই ব্যতিচারী রশ্মির মধ্যে সুসঙ্গতির (coherence) অভাব ঘটত এবং পটিগুলি অস্পষ্ট হত। কিন্তু কেনেডি-থর্নডাইক পরীক্ষাতেও 12 ঘন্টার তফাতে পর্যবেক্ষণ করে ব্যতিচার পটির কোনো সরণ দেখা গেল না। এর ফলে লরেন্ৎস-ফিৎস্‌গেরাল্ড সংকোচন প্রকল্পটি সঠিক নয় বলে প্রমাণিত হল।

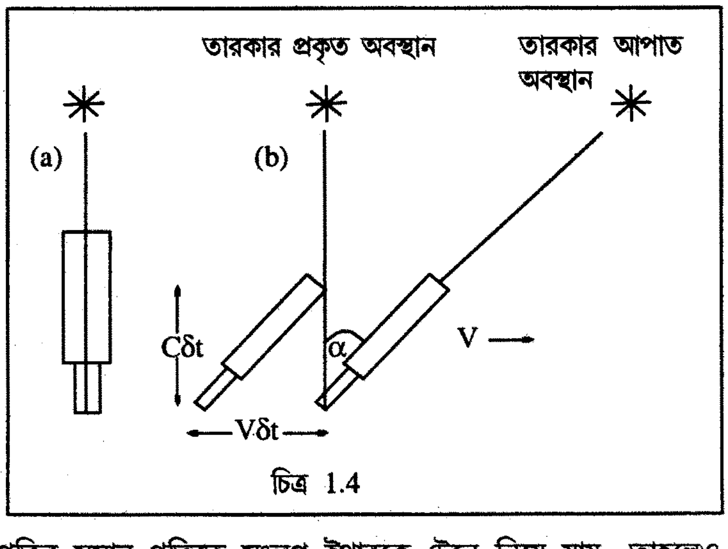
ইথারের ধারণাকে বাঁচিয়ে রাখার জন্য বিজ্ঞানীরা এবার তার ওপর ভিন্ন একটি ধর্ম আরোপ করলেন। পরবর্তী অংশে আপনি সেটির সম্বন্ধে জানতে পারবেন।

1.4.2 ইথার-টানের (Ether drag) প্রকল্প

মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষার নঞর্থক ফল ব্যাখ্যা করার জন্য বিজ্ঞানীরা একটি বিকল্প প্রস্তাব উপস্থাপিত করেন। আপনি জানেন যে রেলগাড়ি বেগে চললেও কামরার মধ্যে উপবিষ্ট যাত্রী বিপরীতমুখী ঝড় অনুভব করেন না। এর কারণ রেলগাড়ির কামরা তার মধ্যস্থ বাতাসকে সমবেগে বহন করে চলে। বিজ্ঞানীরা কল্পনা করলেন যে, যে কোনো বস্তু তার সংলগ্ন ইথারকে তার সঙ্গে টেনে নিয়ে চলে। এই প্রকল্প অনুযায়ী মাইকেলসন ইন্টারফেরোমিটারটি সব সময়ই তার সংলগ্ন স্থানীয় ইথারের সাপেক্ষে স্থির থাকবে এবং লক্ষিত ফল, অর্থাৎ ব্যতিচার পটির শূন্য সরণই প্রত্যাশিত হবে। আপাত দৃষ্টিতে এই প্রকল্প সঠিক মনে হলেও অন্য একটি পরীক্ষার ফলের ভিত্তিতে এটি গ্রহণযোগ্য হল না। এই পরীক্ষাটি হল তারকার আপাত স্থানচ্যুতির (aberration) পরিমাপ, যা জ্যোতির্বিজ্ঞানী ব্র্যাডলে (Bradley) 1727 খ্রিস্টাব্দে প্রথম করেছিলেন। এই পরীক্ষাটি সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করা যাক।

তারকার আপাত স্থানচ্যুতির পরীক্ষা ঃ

ব্র্যাডলে দেখেছিলেন এক বৎসর সময়ে আকাশের তারাগুলি 41 সেকেন্ড কৌণিক ব্যাসের বৃত্তাকার পথে একবার পরিভ্রমণ করে। কীভাবে এই কৌণিক গতির ব্যাখ্যা দেওয়া যায়? ধরে নিন আপনি টেলিস্কোপের সাহায্যে সোজাসুজি মাথার ওপরের একটি তারকা লক্ষ করছেন। যদি পৃথিবী ইথারের মধ্যে স্থির থাকত তাহলে আপনাকে টেলিস্কোপের অক্ষটি উল্লম্ব রাখতে হত। এমনকি, পৃথিবী যদি তার নিজগতির সমান গতিতে সংলগ্ন ইথারকে টেনে নিয়ে যায়, তাহলেও



চিত্র 1.4

টেলিস্কোপের অক্ষ উল্লম্ব রেখে তারকাটি দেখা যেত কেননা তারকা থেকে আসা আলোকরশ্মি টেলিস্কোপে প্রবেশ করার পর টেলিস্কোপের সংলগ্ন ইথারের মধ্য দিয়ে অক্ষ বরাবর সঞ্চালিত হত (চিত্র 1.4a)।

এবার দেখা যাক পৃথিবী ইথারের মধ্য দিয়ে গতিশীল হলে এবং ইথারকে টেনে নিয়ে যাওয়ার প্রকল্প সঠিক না হলে কী ঘটত ? এক্ষেত্রে টেলিস্কোপের অক্ষ উল্লম্ব রাখা হলে তারকা থেকে আসা আলোকরশ্মি টেলিস্কোপে প্রবেশ করার পর টেলিস্কোপের নলের গায়ে এসে পড়বে। তারকাটি দেখতে হলে টেলিস্কোপের অক্ষ পৃথিবীর গতির দিক অভিমুখে, ধরুন α কোণে, হেলিয়ে রাখতে হবে [চিত্র 1.4b]। ধরুন $t = 0$ সময়ে তারকা থেকে একটি আলোকরশ্মি টেলিস্কোপের নলে প্রবেশ করল। ওই রশ্মি যেমন c বেগে নীচের দিকে অগ্রসর হবে টেলিস্কোপটিকেও V বেগে অগ্রসর হতে হবে যাতে $t = \delta t$ সময়ে আলোকরশ্মিটি টেলিস্কোপের অভিনেত্রে এসে পড়ে। চিত্র থেকে বোঝা যায় $\tan\alpha = \frac{V\delta t}{c\delta t} = \frac{V}{c}$ ।

আমরা আগেই দেখেছি পৃথিবীর সূর্য প্রদক্ষিণ করার বেগ 30 km/s। সুতরাং $\tan\alpha = \frac{30}{3\times10^5} = 10^{-4}$। অর্থাৎ $\alpha \approx 20.6$ সেকেন্ড। পৃথিবীর বার্ষিক গতির ফলে তারকার এই পরিমাণ আপাত কৌণিক স্থানচ্যুতি দেখা যাবে। পৃথিবী সর্বদাই গতিশীল হওয়ায় এই স্থানচ্যুতি সরাসরি মাপা যাবে না। কিন্তু বার্ষিক গতির ফলে পৃথিবী যখন প্রায় বৃত্তাকার কক্ষপথে ঘোরে তখন তার বেগের দিকও পরিবর্তিত হয় এবং সেই সঙ্গে তারকার কৌণিক স্থানচ্যুতির দিকও পরিবর্তিত হবে। ফলে তারকাটিকে 20.6 সেকেন্ড কৌণিক ব্যাসার্ধের বা 41 সেকেন্ড কৌণিক ব্যাসের একটি বৃত্তাকার পথে বছরে একবার ঘুরে আসতে দেখা যাবে।

তারকার এ ধরনের কৌণিক স্থানচ্যুতি ব্রাডলে ও অন্যান্যদের পর্যবেক্ষণের সঙ্গে পুরোপুরি মিলে যায়। এর ফলে পৃথিবী বা টেলিস্কোপ তার সংলগ্ন ইথারকে টেনে নিয়ে যায়, এমন কোনো প্রকল্প গ্রহণযোগ্য থাকে না।

আপনি হয়তো লক্ষ করেছেন যে এ পর্যন্ত আমরা যে পরীক্ষাগুলি সম্বন্ধে আলোচনা করেছি সেগুলিতে আলো বায়ুমাধ্যমেই যাতায়াত করেছে, যা প্রায় শূন্য মাধ্যমের সমতুল। আলো যখন কোনো স্বচ্ছ ঘনতর মাধ্যমের মধ্য দিয়ে যায় তখন ঐ মাধ্যম ইথারকে টেনে নিয়ে যায় কিনা তা দেখার জন্যও বিজ্ঞানীরা পরীক্ষা করেছেন। পরের অংশে আমরা এই বিষয়টি আলোচনা করব। তার আগে একটি অনুশীলনীর উত্তর দিন।

অনুশীলনী 2

(ক) ইথারের সাপেক্ষে পৃথিবীর বেগ শূন্য থেকে 30 km/s-এর মধ্যে পরিবর্তিত হলে লরেৎস্-ফিৎস্‌গেরাল্ড সংকোচন প্রকল্প অনুযায়ী কেনেডি থর্নডাইক পরীক্ষায় কতগুলি ব্যতিচার পটির সরণ ঘটত ? ধরে নিন ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য = 500 nm।

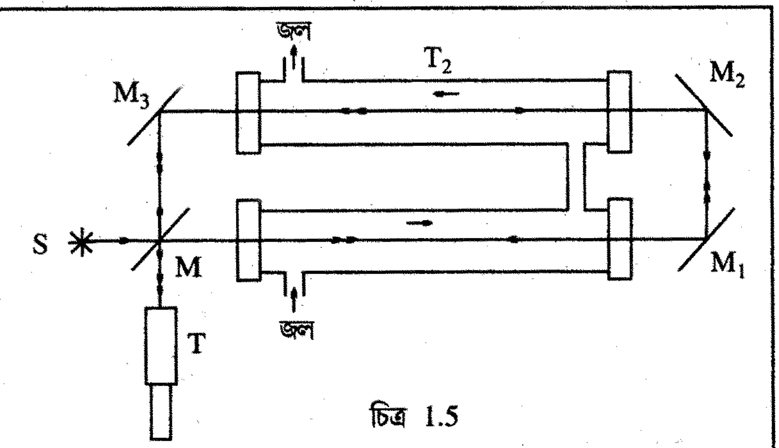
(খ) মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষাটি শব্দ তরঙ্গের ক্ষেত্রে করা হলে ফল কী হত ?

1.5 গতিশীল ঘন মাধ্যমে আলোক সঞ্চারণ-ফিজোর (Fizeau) পরীক্ষা

আলোক তরঙ্গ যখন কোনো গতিশীল, স্বচ্ছ ঘনমাধ্যমের মধ্য দিয়ে সঞ্চারিত হয় তখন মাধ্যমের গতি কি আলোকের বেগকে প্রভাবিত করে? 1817 খ্রিস্টাব্দে ফ্রেনেল (Fresnel) তত্ত্বগতভাবে দেখান যে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক যদি μ হয় তবে মাধ্যমের বেগের $\left(1-\frac{1}{\mu^2}\right)$ অংশ ঐ মাধ্যমে আলোকের স্বাভাবিক বেগের সঙ্গে যুক্ত হয়। এই তত্ত্ব যদি সঠিক হয় তবে বহমান জলের মধ্যে স্রোতের অভিমুখে ও স্রোতের বিপরীতে আলোকের বেগের তুলনা করে সেটিকে প্রতিপন্ন করা যাবে। 1851 খ্রিস্টাব্দে ফিজো এজন্য একটি পরীক্ষা করেন।

1.5.1 ফিজোর পরীক্ষা

1.5 চিত্রে আপনি ফিজোর পরীক্ষায় ব্যবস্থাটি দেখতে পাবেন। T_1 ও T_2 দুটি সমান প্রস্থচ্ছেদের নল। এগুলির প্রান্তে সমতল কাঁচের পাত আটকানো আছে এবং একটি নল দিয়ে দুটিকে যুক্ত করা হয়েছে। T_1 নলের একপ্রান্ত দিয়ে নির্দিষ্ট বেগে জল ঢোকে এবং T_1 ও T_2 নল বরাবর দুই বিপরীত দিকে প্রবাহিত হয়ে T_2 নলের একপ্রান্তে বেরিয়ে যায়। S একটি একবর্ণী আলোর উৎস। S থেকে আসা আলোকরশ্মির সঙ্গে 45° কোণে হেলানো রূপার অর্ধপ্রলেপিত দর্পণ M আলোকরশ্মিকে দুইভাগে ভাগ করে। সোজাভাবে নির্গত প্রথম রশ্মিটি T_1 নলের মধ্যে দিয়ে যাওয়ার পর M_1 ও M_2 দর্পণে প্রতিফলিত হয় এবং T_2 নল অতিক্রম করে M_3 দর্পণে প্রতিফলিত হয়ে M দর্পণ ভেদ করে টেলিস্কোপ T-তে প্রবেশ করে। অপরপক্ষে M দর্পণে প্রতিফলিত দ্বিতীয় রশ্মিটি M_3 দর্পণ, T_2 নল, M_2 ও M_1 দর্পণ, T_1 নল হয়ে M দর্পণে পুনরায় প্রতিফলিত হয়ে টেলিস্কোপে প্রবেশ করে। লক্ষ করুন, প্রথম রশ্মিটি T_1 ও T_2 নলে জলের প্রবাহের অভিমুখে যায় কিন্তু দ্বিতীয় রশ্মিটি ঐ দুই নলে জলের প্রবাহের বিপরীতে যায়। এখন প্রশ্ন হল, গতিশীল জলের মধ্যে এই দুই আলোকরশ্মির বেগ কত?



চিত্র 1.5

জলের প্রতিসরাঙ্ক μ হলে স্থির জলে আলোর বেগ $\frac{c}{\mu}$। নলের মধ্যে জলস্রোতের বেগ যদি u হয়

তবে ফ্রেনেলের সূত্র অনুযায়ী বহমান জল ইথারকে $\left(1-\frac{1}{\mu^2}\right)$ বেগে টেনে নিয়ে যাবে। আলোকরশ্মি জলস্রোতের অভিমুখে গেলে এই বেগ আলোর স্বাভাবিক বেগের সঙ্গে যোগ হবে। বিপরীতে গেলে এই বেগ আলোর স্বাভাবিক বেগ থেকে বিয়োগ করতে হবে। T_1 ও T_2 নলের প্রতিটির মধ্যে আলোর রশ্মিপথের দৈর্ঘ্য যদি L হয় তবে মোট 2L দৈর্ঘ্যের পথ অতিক্রম করতে প্রথম রশ্মির সময় লাগবে

$$T_1 = \frac{2L}{\frac{c}{\mu}+ud} \quad \text{(যেখানে } d = 1-\frac{1}{\mu^2}\text{, টানের গুণাঙ্ক)}$$

এবং দ্বিতীয় রশ্মির লাগবে

$$T_2 = \frac{2L}{\frac{c}{\mu}-ud}$$

$$\therefore\ \Delta T = T_2 - T_1 = \frac{2L}{\frac{c}{\mu}-ud} - \frac{2L}{\frac{c}{\mu}+ud}$$

$$= \frac{2L\mu}{c}\left[\left(1-\mu\frac{u}{c}.d\right)^{-1} - \left(1+\mu\frac{u}{c}d\right)^{-1}\right]$$

$$= \frac{2L\mu}{c}\left[\left(1+\mu\frac{u}{c}d\right) - \left(1-\mu\frac{u}{c}d\right)\right]$$

[দ্বিপদ সূত্র ব্যবহার করে এবং $\frac{u}{c}$ রাশির উচ্চতর ঘাত উপেক্ষা করে]

$$\text{বা, } \Delta T = \frac{4L\mu^2 ud}{c^2}$$

ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য যদি λ হয় তবে তার পর্যায়কাল $T = \frac{\lambda}{c}$। সুতরাং ΔT সময়ের ব্যবধানের ফলে প্রথম রশ্মিটি দ্বিতীয় রশ্মির চেয়ে যে সংখ্যক তরঙ্গদৈর্ঘ্যে পেছিয়ে যাবে সেটি হল

$$n = \frac{\Delta T}{T} = \frac{4L\mu^2 ud}{c\lambda}$$

প্রথম ও দ্বিতীয় রশ্মি টেলিস্কোপের ফোকাস তলে ব্যতিচার পটি সৃষ্টি করে। নল দুটিতে যখন জল প্রবাহ থাকে না ; $(u=0)$ সেই অবস্থার তুলনায় যখন জল u বেগে প্রবাহিত হয় এমন অবস্থায় ব্যতিচার

পটিগুলির n সংখ্যক পটি সরে যাবে। ফ্রেনেলের সূত্র অনুযায়ী যে সংখ্যক পটি সরে যাওয়া উচিত ফিজোর পরীক্ষায় ঠিক ততগুলি পটিই সরতে দেখা গিয়েছিল। অর্থাৎ গতিশীল ঘন মাধ্যম তার গতির একটি ভগ্নাংশ গতিতে আলোকরশ্মিকে টেনে নিয়ে যায়। এটিই পরীক্ষার দ্বারা সঠিক তত্ত্ব হিসাবে প্রতিভাত হয়েছিল।

আপনি আগের অংশে তারকার আপাত স্থানচ্যুতি সংক্রান্ত পরীক্ষা সম্বন্ধে জেনেছেন। টেলিস্কোপের নলের মধ্যে জল ভরে এই পরীক্ষাটি করে দেখা গিয়েছে সেক্ষেত্রেও ঘন মাধ্যমে। অর্থাৎ জল, আলোকরশ্মিকে আংশিকভাবে টেনে নিয়ে যায়, এটিই সমর্থিত হয়। মোটের উপর, কোনো পরীক্ষাই ইথারের অস্তিত্ব প্রমাণ করে না, আবার ইথার সংক্রান্ত কোনো প্রকল্পই সব পরীক্ষার ফল ব্যাখ্যা করতে পারে না।

অনুশীলনী 3

ফিজোর পরীক্ষায় প্রতিটি নলের দৈর্ঘ্য 2m, জলের প্রতিসরাঙ্ক = 1.33, ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য = 500 nm এবং জলস্রোতের বেগ = 5 m/s হলে ফ্রেনেলের সূত্র অনুযায়ী জলের গতির ফলে কটি ব্যতিচার পটিকে সরতে দেখা যাবে?

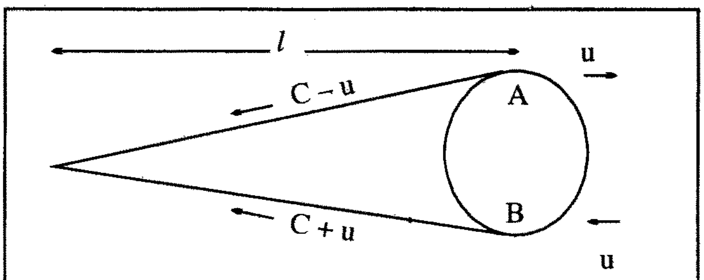
এবার আমরা আলোকের বেগ সম্বন্ধীয় এমন একটি প্রকল্প সম্বন্ধে আলোচনা করব যেটিতে ইথার নামে কোনো বস্তু কল্পনা করা হয়নি।

1.6 বিকিরণ প্রকল্প (Emission Theory)

আপনি হয়তো ভেবে দেখেছেন যে আলোর বেগ সব জড়ত্বীয় ফ্রেমেই সমান। এটি ধরে নিলে মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষার নঞর্থক ফল স্বাভাবিক বলেই মনে হত। কিন্তু সনাতন আপেক্ষিকতায় বিশ্বাসী বিজ্ঞানীমহল এরকম একটি বিরুদ্ধ ধারণা মেনে নিতে মোটেই প্রস্তুত ছিলেন না। এজন্য অনেকেই আর একটি বিকল্প প্রস্তাব পেশ করেছিলেন যার মধ্যে ইথারের কল্পনা ছিল না কিন্তু ধরে নেওয়া হয়েছিল যে শূন্যে আলোর বেগ তার উৎসের সাপেক্ষে c, অর্থাৎ 3×10^8 m/s। এই ধারণা থেকে মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষার ফলের ব্যাখ্যা সহজেই মেলে কেননা সেখানে আলোর উৎস, ইন্টারফেরোমিটার ও পর্যবেক্ষক পরস্পরের সাপেক্ষে স্থির, সুতরাং আলোর বেগ এগুলির সাপেক্ষে c-এর সমান। কিন্তু আরও কিছু পরীক্ষা এই প্রকল্পকেও সমালোচনার সম্মুখীন করল। এই পরীক্ষাগুলি সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করে নেওয়া যাক।

ডি সিটারের (W. De Sitter, 1913) পরীক্ষা ঃ এই পরীক্ষাটি বুঝতে হলে যুগ্ম তারা কাকে বলে তা জানা দরকার। মহাকাশে এমন অনেক তারকাযুগ্মের সন্ধান পাওয়া গেছে যেগুলি তাদের সাধারণ ভরকেন্দ্রকে কেন্দ্র করে ঘোরে। ধরা যাক পৃথিবী এমন একটি তারার বৃত্তাকার কক্ষপথের তলে অবস্থিত

[চিত্র 1.6] এবং কক্ষপথের ব্যাস তারকা থেকে পৃথিবীর পর্যবেক্ষক O-এর দূরত্বের তুলনায় উপেক্ষণীয়। A ও B কক্ষপথের উপর দুই বিপরীত বিন্দু, O থেকে l দূরত্বে অবস্থিত। ধরুন $t = 0$ সময়ে তারকাটি যখন A বিন্দুতে, তখন তারকাটি থেকে আলোক বিকীর্ণ হয়ে t_1 সময়ে পর্যবেক্ষকের কাছে পৌঁছোল। A বিন্দুতে তারকার বেগ পর্যবেক্ষকের বিপরীত দিকে u, সুতরাং এক্ষেত্রে আলোর বেগ c - u। সুতরাং $t_1 = \frac{l}{c-u}$।



চিত্র 1.6

তারকার কক্ষপথ প্রদক্ষিণের সময় যদি T হয় তবে $t = \frac{T}{2}$ সময়ে তারকাটি B বিন্দুতে এসে পৌঁছোবে। তখন তারকা থেকে যে আলোক বিকীর্ণ হবে তা c + u বেগে $t_2 = \frac{T}{2} + \frac{l}{c+u}$ সময়ে পর্যবেক্ষকের কাছে পৌঁছোবে। সুতরাং পর্যবেক্ষকের হিসাবে A থেকে B-তে আসতে তারকার সময় লাগবে

$$T_1 = t_2 - t_1 = \frac{T}{2} + \frac{l}{c+u} - \frac{l}{c-u} = \frac{T}{2} - \frac{2lu}{c^2 - u^2}$$

একইভাবে গণনা করে দেখানো যায় যে B থেকে A-তে যেতে তারকার যে সময় লাগবে তা পর্যবেক্ষকের হিসাবে $T_2 = \frac{T}{2} + \frac{2lu}{c^2 - u^2}$।

T_1 ও T_2-এর এই অসমতা তারকার কক্ষপথের উৎকেন্দ্রিকতার নিদর্শন। কিন্তু সরাসরি মেপে কক্ষপথের কোনো উৎকেন্দ্রিকতা লক্ষিত হয় না। সুতরাং এই পরীক্ষা থেকে এটাই প্রমাণ হয় যে আলোর বেগের উপর উৎসের বেগের কোনো প্রভাব নেই।

বহির্জগতীয় আলোক উৎস ব্যবহার করে মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি ঃ মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষায় আলোর উৎস ইন্টারফেরোমিটার বা পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে স্থির ছিল। উৎসটি গতিশীল হলে এবং উৎসের গতি পরিবর্তিত হতে থাকলে ইন্টারফেরোমিটারের সাপেক্ষে আলোর বেগ কম বেশি হতে থাকবে, যার ফলে ব্যতিচার পটিরও পরিবর্তন হতে থাকবে। এই পরীক্ষা সাফল্যের সঙ্গে করতে হলে উচ্চগতিসম্পন্ন আলোক উৎস প্রয়োজন। কিন্তু গবেষণাগারে এমন উৎস পাওয়া সম্ভব নয়। এজন্য টোম্যাশেক (Tomaschek, 1924) ও মিলার (Miller, 1925) যথাক্রমে তারকার আলো ও সূর্যালোক ব্যবহার করে মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করেন। কিন্তু তাঁরা কেউই ব্যতিচার পটির কোনো পরিবর্তন লক্ষ করেননি।

বিকিরণ প্রকল্পের অসাফল্য থেকে সমস্ত জড়ত্বীয় ফ্রেমে আলোকের বেগের সমতা, তথা তড়িৎচুম্বকীয় সমীকরণগুলির সত্যতা প্রতিপন্ন হল। আপনি আগেই দেখেছেন কীভাবে ইথার প্রকল্পও পরীক্ষার ফলাফল দ্বারা সমর্থিত না হয়ে বর্জিত হয়েছে। সনাতন আপেক্ষিকতার সীমাবদ্ধতা, আলোকের বেগের সমতা প্রভৃতি বিষয়ে বিজ্ঞানীদের মধ্যে যে অস্বচ্ছতা ছিল তা দূর করতে বিষয়টির উপর যিনি উজ্জ্বল আলোর সম্প্রপাত ঘটিয়েছিলেন তিনি হলেন অ্যালবার্ট আইনস্টাইন। আপেক্ষিকতার পরবর্তী অধ্যায় সম্বন্ধে আপনি পরবর্তী এককে জানার সুযোগ পাবেন।

এবার একটি অনুশীলনীর উত্তর দিন।

অনুশীলনী 4

বিকিরণ প্রকল্প সত্য ধরে নিয়ে দেখান যে ডি সিটারের পরীক্ষায় নির্দিষ্ট কোন্ অবস্থায় যুগ্ম তারকার একটিকে একই সঙ্গে A ও B বিন্দুতে [চিত্র 1.6] দেখা যেতে পারে।

1.7 সারাংশ

এই এককটির প্রথম অংশে সনাতন আপেক্ষিকতার তত্ত্ব তথা গ্যালিলিয়ো রূপান্তরণের বিবৃতি ও ব্যাখ্যা দেওয়া হয়েছে। দেখা গেছে যে নিউটনীয় বলবিদ্যার সূত্রগুলি সব জড়ত্বীয় নির্দেশতন্ত্রে সমভাবে প্রযোজ্য থাকে। সুতরাং কোনো একটি জড়ত্বীয় নির্দেশতন্ত্র স্থির এবং অন্যগুলি গতিসম্পন্ন, এমন বলা যায় না। কিন্তু তড়িৎচুম্বকীয় ঘটনাবলীর বেলায় সব জড়ত্বীয় নির্দেশতন্ত্রে সূত্রগুলি মোটেই এক থাকে না। এজন্য ইথার নামে একটি মাধ্যম কল্পনা করা হয় যার সাপেক্ষে আলো c, অর্থাৎ 3×10^8 ms^{-1} বেগে চলে।

সর্বব্যাপী ইথারের অস্তিত্ব এবং তার আরোপিত ধর্মগুলি প্রতিপন্ন করার জন্য অনেক পরীক্ষা-নিরীক্ষা করা হয়েছে। এর মধ্যে মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষায় ইথারের মধ্যে পৃথিবীর গতি অথবা পৃথিবীর সাপেক্ষে ইথারের স্রোত লক্ষ করার চেষ্টা ব্যর্থ হয়েছিল। পৃথিবী সংলগ্ন ইথারকে টেনে নিয়ে যায়, এমন একটি ধারণাও পরীক্ষার ফলাফল দ্বারা সমর্থিত হয়নি। বরং পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হয় যে গতিশীল ঘন মাধ্যম আলোকরশ্মিকে আংশিকভাবে টেনে নিয়ে যায়। শেষ পর্যন্ত ইথার মাধ্যমের কল্পনা বিজ্ঞানীরা বর্জন করেন।

আলোক তার উৎসের সাপেক্ষে c বেগে চলে এমন একটি প্রকল্পও প্রস্তাবিত হয়েছিল। কিন্তু কয়েকটি পরীক্ষায় লব্ধ ফল এই প্রকল্পকে সমর্থন যোগায়নি। বিভিন্ন পরীক্ষার ফলাফল ক্রমশ আপেক্ষিকতার সঠিক তত্ত্বের দিকে পথনির্দেশ করেছিল। এই সঠিক তত্ত্বের প্রবক্তা ছিলেন আইনস্টাইন।

1.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

(ক) জড়ত্বীয় ফ্রেম কাকে বলে? দেখান যে, কোন্ জড়ত্বীয় ফ্রেমের সাপেক্ষে সমবেগে চলমান ফ্রেমও জড়ত্বীয় হবে।

(খ) মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষার উদ্দেশ্য কী ছিল? পরীক্ষাটির যন্ত্রব্যবস্থা বর্ণনা করুন। এই পরীক্ষার প্রত্যাশিত ফল কী ছিল?

(গ) মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষায় পরিদৃষ্ট ফলের তাৎপর্য ব্যাখ্যা করুন।

(ঘ) ইথার টানের প্রকল্পটি ব্যাখ্যা করুন। তারকার কৌণিক চ্যুতি সংক্রান্ত পরীক্ষা এই প্রকল্পকে সমর্থন করে কিনা, আলোচনা করুন।

(ঙ) ফিজোর পরীক্ষার বর্ণনা দিন এবং এই পরীক্ষার ফলাফল বিশ্লেষণ করুন।

(চ) আলোর বিকিরণ প্রকল্পটি ব্যাখ্যা করুন। এই প্রকল্প কেন গ্রহণযোগ্য বলে বিবেচিত হয়নি?

1.9 উত্তরমালা

অনুশীলনী 1. (i) ও (iv) নির্দেশতন্ত্র দুটিকে জড়ত্বীয় ফ্রেম বলা যায়।

অনুশীলনী 2. (ক) 1.10 সূত্র অনুযায়ী সরে যাওয়া পটির সংখ্যা $\Delta n = \frac{l_2 - l_1}{\lambda}(\beta^2 - \beta'^2)$

$$l_2 - l_1 = 16 \text{ cm}, \lambda = 500 \text{ nm}, \beta = \frac{30}{3 \times 10^5} = 10^{-4}, \beta' = 0 \text{ মান বসিয়ে}$$

$$\Delta n = \frac{0.16}{500 \times 10^{-9}}(10^{-8} - 0) = .0032$$

(খ) যেহেতু শব্দতরঙ্গ বায়ু দ্বারা বাহিত হয়, গতিশীল বায়ুতে শব্দের বেগ স্থির বায়ুতে শব্দের বেগ ও বায়ুর বেগের ভেক্টর যোগফল।

সুতরাং এক্ষেত্রে 1.9 সমীকরণটি প্রযোজ্য হবে। তবে এক্ষেত্রে ইন্টারফেরোমিটারের আকার শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় বড়ো হতে হবে। উপযুক্ত অর্ধপ্রতিফলক ও দর্পণ ব্যবহার করতে হবে এবং শব্দতরঙ্গের ব্যতিচার লক্ষ করার জন্য উপযুক্ত তীব্রতামাপকের ব্যবস্থা করতে হবে।

অনুশীলনী 3

1.11 সূত্র অনুযায়ী সরে যাওয়া ব্যতিচার পটির সংখ্যা $n = 4L\mu^2 ud / c\lambda$। এখানে $L = 2m$, $\mu = 1.33$, $d = 1 - \mu^{-2} = 0.435$, $u = 5$ m/s, $c = 3 \times 10^8$ m/s, $\lambda = 500 \times 10^{-9}$ m। মানগুলি বসিয়ে

$$n = 4.2.(1.33)^2 . 5 \times 0.435 / 3 \times 10^8 \times 500 \times 10^{-9}$$

$$= 0.2 \text{ প্রায়।}$$

অনুশীলনী 4

তারকাটির A থেকে B বিন্দুতে আসতে সময় লাগে পর্যবেক্ষকের হিসাবে $T_1 = \frac{T}{2} - \frac{2lu}{c^2 - u^2}$। যদি $T_1 = 0$ হয়, তবে তারকাটিকে একই সঙ্গে A ও B বিন্দুতে দেখা যাবে। ∴ নির্ণেয় শর্ত $T_1 = \frac{T}{2} - \frac{2lu}{c^2 - u^2}$ বা, $T = \frac{\Delta lu}{c^2 - u^2}$

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

(ক) 1.2 অংশ দেখুন।

(খ) 1.4 অংশ দেখুন।

(গ) মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষার ফল থেকে এই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে ইথার নামে অভিহিত কোনো সর্বব্যাপী মাধ্যম আছে এবং আলো এই মাধ্যমেই সঞ্চারিত হয় এমন ধারণা সমর্থন করা যায় না। সুতরাং হয় (1) আলো শূন্য মাধ্যমে সব জড়ত্বীয় ফ্রেমে সমান বেগে (c) সঞ্চারিত হয়। অথবা (2) লরেনৎস্-ফিৎস্‌গেরাল্ড সংকোচন বা ইথারের টান বা বিকিরণ প্রকল্প এর কোনো একটির দ্বারা ইথারের মধ্যে আলোর সঞ্চারণ প্রক্রিয়া বা উৎস থেকে আলোর বিকিরণ প্রক্রিয়াকে পরিবর্তিত রূপ দিতে হবে। অন্যান্য পরীক্ষার দ্বারা দ্বিতীয় বিকল্পের ধারণাগুলি ভুল বলে প্রমাণিত হয়েছিল।

(ঘ) 1.4.2 অংশটি দেখুন।

(ঙ) 1.5 অংশ দেখুন।

(চ) 1.6 অংশ দেখুন।