



আপেক্ষিক তত্ত্ব ও জ্যোতি-পদার্থবিদ্যা

ভূমিকা

১৯০৫ সালে বিখ্যাত বিজ্ঞানী আইনস্টাইন বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। প্রকৃতপক্ষে আপেক্ষিক হচ্ছে বিভিন্ন পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে পর্যবেক্ষণের তারতম্য হওয়া। বিশ্বের কোথাও কোন পরম নির্দেশ কাঠামো নেই যদি থাকতো তাহলে আমরা গ্রহ, নক্ষত্র এবং অন্যান্য নভোমন্ডলীয় বস্তু এমনকি ভূপৃষ্ঠের বস্তুর গতিও ঐ নির্দেশ কাঠামোর সাহায্যে নির্ণয় করতে পারতাম। এর আগে নিউটনীয় বলবিদ্যা অনুসারে মনে করা হত দৈর্ঘ্য, ভর ও সময় ধ্রুবক, কিন্তু আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে এগুলো সবই আপেক্ষিক। এই ইউনিটে আপেক্ষিক তত্ত্ব নিয়ে আলোচনা করা হবে। সেই সাথে জ্যোতি-পদার্থবিদ্যা থেকে তারকার জীবনচক্র এবং কৃষ্ণবিবর ও তার বৈশিষ্ট্য নিয়ে আলোচনা করা হবে।



উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- আপেক্ষিক তত্ত্ব কি বলতে পারবেন;
- আপেক্ষিক তত্ত্বের মৌল স্বীকার্য বর্ণনা করতে পারবেন;
- সময়, দৈর্ঘ্য ও ভরের ওপরে আপেক্ষিক গতির যে প্রভাব আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে তা সূত্রের সাহায্যে বর্ণনা করতে পারবেন।

১৫.১.১ : আপেক্ষিক তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যসমূহ

কোন বস্তুর গতি সম্পর্কে জানতে হলে একটি নির্দেশ কাঠামোর প্রয়োজন হয়। যেমন, আমি বলি, ট্রেনটি চট্টগ্রাম অভিমুখে ঘণ্টায় ৪০ মাইল বেগে চলছে। এখন প্রশ্ন হচ্ছে কি সাপেক্ষে ঘণ্টায় ৪০ মাইল বেগে চলছে? প্রশ্নের উত্তর হচ্ছে “ভূমি সাপেক্ষে ঐ বেগে চলছে। এখানে ভূমি হচ্ছে নির্দেশ কাঠামো। অপরপক্ষে, যদি আমরা ধরে নিই, দুটো ট্রেন সমান্তরাল রেলের উপর একই দিকে একটি ঘণ্টায় ৬০ মাইল এবং অপরটি ঘণ্টায় ৪০ মাইল বেগে চলছে। দুটো ট্রেনের গতিবেগ ভূমি সাপেক্ষে পরিমাপ করা হয়েছে। কিন্তু যদি আমরা ঘণ্টায় ৪০ মাইল বেগে ধাবমান ট্রেনের উপর থেকে ঘণ্টায় ৬০ মাইল বেগে ধাবমান ট্রেনের গতিবেগ নির্ণয় করি, তবে ইহার গতিবেগ কত? উত্তর: ঘণ্টায় ২০ মাইল। এখানে নির্দেশ কাঠামো হচ্ছে, ঘণ্টায় ৪০ মাইল বেগে চলন্ত ট্রেনটি। আবার পৃথিবী স্বয়ং নিজ অক্ষের সাপেক্ষে আবর্তন করে। ফলে দিন ও রাত্রি দেখা দেয়। সূর্যের চারিদিকে কক্ষপথে পরিক্রমণ করার কারণে ঋতু পরিবর্তন দেখা দেয়। উভয় গতি বিবেচনা করলে ঐ ট্রেনের গতিবেগ কত? কাজেই আমরা বলতে পারি, বিশ্বের কোথাও কোন পরম নির্দেশ কাঠামো নেই। যদি থাকতো, তাহলে আমরা গ্রহ, নক্ষত্র এবং অন্যান্য স্বর্গীয় বস্তু এবং এমনকি ভূপৃষ্ঠের বস্তুর গতি ঐ পরম নির্দেশ কাঠামোর সাহায্যে নির্ণয় করতে পারতাম। তাহলে আমরা স্থির সিদ্ধান্তে আসতে পারি, বিশ্বব্রহ্মাণ্ডের কোথাও একটি বিশ্বজনীন নির্দেশ কাঠানো নেই। যা কিছু হিসাব করি, তা হচ্ছে আপেক্ষিক। ১৯০৫ সালে আলবার্ট আইনস্টাইন বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। এই তত্ত্বের দুটো অনুসিদ্ধান্তঃ

প্রথম অনুসিদ্ধান্ত হচ্ছে :

কোন বিশ্বজনীন নির্দেশ কাঠামো নাই। সব নির্দেশ কাঠামো আপেক্ষিক। আপেক্ষিক নির্দেশ কাঠামোসমূহ পরস্পর পরস্পরের সাপেক্ষে নির্দিষ্ট গতিবেগে গতিশীল। এসব নির্দেশ কাঠামোতে পদার্থবিদ্যার সূত্রসমূহ একইরূপ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

দ্বিতীয় অনুসিদ্ধান্ত হচ্ছে :

পর্যবেক্ষক যেকোন নির্দেশ কাঠামোতে থাকুক না কেন তিনি মুক্ত স্থানে আলোর গতিবেগ একই দেখতে পান। আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্ব উপস্থাপনের ২৪ বৎসর পূর্বে অর্থাৎ ১৮৮১ সনে মাইকেলসন-মর্লে পরীক্ষণ সাহায্যে মুক্ত স্থানে আলোর গতিবেগের অপরিবর্তনশীলতা প্রমাণ করে গেছেন।

১৫.১.২ : দৈর্ঘ্য সংকোচন

ধরি, সুস্থম গতিবেগে গতিশীল একটি মহাশূন্য যানে একজন নভোচারী একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য ইহার প্রান্তিক অবস্থানের ব্যবধান জেনে নিরূপণ করেন। তা হচ্ছে $L_0 = X_2 - X_1$

এখানে, মহাশূন্যযানটি একটি জড় কাঠামো।

পৃথিবীতে অবস্থানরত একজন পর্যবেক্ষক একই দণ্ডের দৈর্ঘ্য ইহার প্রান্তিক অবস্থান জেনে নিম্নোক্ত সমীকরণ দ্বারা নির্ধারণ করেন।

$$L = X_2' - X_1'$$

এখানে, X_2' এবং X_1' পৃথিবী থেকে পর্যবেক্ষণলব্ধ উক্ত দণ্ডের প্রান্তিক অবস্থানের স্থানাঙ্ক।

এখন, X_2 , X_1 , X_2' এবং X_1' চারটি স্থানাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক-

$$X_2' = K (X_2 - vt)$$

$$X_1' = K (X_1 - vt)$$

এখানে $t =$ সময়। $K = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$; $c =$ আলোর গতিবেগ।

$$\therefore X_2' - X_1' = K(X_2 - X_1)$$

$$\therefore L_0 = KL$$

$$\text{অথবা, } L_0 = \frac{L}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \text{অর্থাৎ } L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

যেহেতু $\frac{v}{c}$ একটি ভগ্নাংশ, সেহেতু L রাশিটি L_0 থেকে ক্ষুদ্রতর। উপরোক্ত বর্ণনাতে পৃথিবীও একটি জড় কাঠামো। সুতরাং আপেক্ষিক গতিবেগে গতিশীল একটি জড় কাঠামোতে একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য অপর একটি জড় কাঠামোতে পর্যবেক্ষণ সাপেক্ষে সংকোচিত হয়েছে বলে মনে হয়। একেই দৈর্ঘ্য সংকোচন বলে। প্রকৃতপক্ষে দণ্ডের পরমাণুসমূহের আদি অবস্থানের কোন পরিবর্তন ঘটে না। আপেক্ষিক গতিবেগের কারণে দণ্ডের দৈর্ঘ্য কম বলে মনে হয়।

১৫.১.৩ : কাল প্রসারণ

আপেক্ষিক গতির কারণে সময় কালেরও পরিবর্তন ঘটে। মনে করি, গতিশীল S' জড় কাঠামোতে x' -কোন অবস্থানে একটি ঘড়ি আছে। S' -জড় কাঠামোটি S জড় কাঠামো সাপেক্ষে v গতিবেগে গতিশীল।

S' ও S জড় কাঠামোর সময় মুহূর্তগুলোর মধ্যে গাণিতিক সম্পর্ক-

$$t_1 = K \left(t_1' + \frac{vx_1'}{c^2} \right)$$

$$t_2 = K \left(t_2' + \frac{vx_2'}{c^2} \right)$$

$$\therefore \text{সময়ের ব্যবধান : } t_2 - t_1 = \frac{t_2' - t_1'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{----- (১)}$$

$$\text{কারণ } K = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

উপরোক্ত সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, S জড় কাঠামোতে কোন ঘটনার জন্য নির্দিষ্ট সময় ব্যবধান S' জড় কাঠামোতে একই ঘটনার জন্য সংশ্লিষ্ট সময় ব্যবধান থেকে বৃহত্তর।

S' -জড় কাঠামোতে একজন পর্যবেক্ষক বুঝতে পারেন যে, S -জড় কাঠামোতে একটি ঘড়ি ধীর গতিতে চলে কারণ S -জড় কাঠামোতে ঘটনার জন্য সময়ের ব্যবধান কম।

অপরপক্ষে S -জড় কাঠামোতে একজন পর্যবেক্ষক S' -জড় কাঠামোতে একটি ঘড়ির মস্তুর গতি পর্যবেক্ষণ করেন।

মোটকথা, চলন্ত ঘড়িতে সময় কাল বেড়ে যায়। ইহাই কাল প্রসারণ।

আমরা জানি, উত্তেজিত পরমাণু বিশেষ বিশেষ কম্পাঙ্কের আলো বিকিরণ করে। (১) নং সমীকরণ অনুসারে গতিশীল পরমাণু সামান্য কম কম্পাঙ্কের আলো বিকিরণ করবে। ১৯৩৮ সনে Ives এবং Stilwell প্রচলিত গতিবেগে গতিশীল

হাইড্রোজেন পরমাণু কর্তৃক নিঃসৃত আলোর কম্পাংক নির্ধারণ করে উক্ত সত্যতা যাচাই করেন। এতে কাল প্রসারণের প্রমাণ মিলে।

মেসন (Meson) জাতীয় অস্থায়ী কণার জীবনকাল পর্যবেক্ষণ করে আরও কালপ্রসারণের প্রমাণ পাওয়া গিয়েছে। একটি নির্দেশ কাঠামোতে মেসন স্থির থাকলে ইহার একটি গড় আয়ু আছে। যদি মেসনটি পর্যবেক্ষক সাপেক্ষে গতিশীল থাকে, তবে ইহার গড় আয়ু বেড়ে যায়; তা পরীক্ষণ সাহায্যে প্রমাণিত।

সারসংক্ষেপ	
আপেক্ষিক তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যসমূহ—	
(i)	কোন বিশ্বজনীন নির্দেশ কাঠামো নাই। সব নির্দেশ কাঠামো আপেক্ষিক। আপেক্ষিক নির্দেশ কাঠামোসমূহ পরস্পর পরস্পরের সাপেক্ষে নির্দিষ্ট বেগে গতিশীল। এসব নির্দেশ কাঠামোতে পদার্থ বিদ্যার সূত্রসমূহ একইরূপ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।
(ii)	পর্যবেক্ষক যে কোন নির্দেশ কাঠামোতে থাকুক না কেন তিনি মুক্ত স্থানে আলোর গতিবেগ একই দেখতে পান।
প্রয়োজনীয় সমীকরণসমূহ :	
(i)	$L_0 = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
(ii)	$t_0 = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন

সংক্ষিপ্ত প্রশ্নোত্তর :

- আপেক্ষিক তত্ত্ব বলতে কি বুঝায় লিখুন। অনুচ্ছেদ- ১৫.১.১ ও ১৫.১.৩
- আপেক্ষিক তত্ত্বের ক্ষেত্রে দৈর্ঘ্য এবং সময়ের সমীকরণগুলো লিখুন। অনুচ্ছেদ- ১৫.১.২



উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- ভর শক্তির সমীকরণ বলতে পারবেন;
- $E = mc^2$ সমীকরণ ব্যবহার করে সহজ হিসাব করতে পারবেন;
- তারকার জীবনচক্র বর্ণনা করতে পারবেন;
- কৃষ্ণবিবর সম্পর্কে জানতে পারবেন।

১৫.২.১ : ভর শক্তির সমীকরণ

সাধারণ গতিবেগে ড্রাম্যমান কোন বস্তুর ভরের কোন পরিবর্তন হয় না। অর্থাৎ স্থির অবস্থায় বস্তুর ভর, গতিশীল অবস্থায় একই বস্তুর ভরের মধ্যে পার্থক্য নাই। কিন্তু আপেক্ষিক গতিবেগে গতিশীল বস্তুর ভরের পরিবর্তন ঘটে। আপেক্ষিক ভর = m , স্থির ভর = m_0 ধরা হলে এদের মধ্যে সম্পর্ক-

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{----- (2)}$$

এখানে, v = বস্তুর গতিবেগ

c = আলোর গতিবেগ।

উপরোক্ত সমীকরণ থেকে ইহা অত্যন্ত স্পষ্ট যে, গতিবেগ v বৃদ্ধি পেলে আপেক্ষিক ভর m এর মান বেড়ে যায়।

এই অবস্থার পরিপ্রেক্ষিতে বস্তুর গতিশক্তি- $T = mc^2 - m_0c^2$

অর্থাৎ $T + m_0c^2 = mc^2$

অর্থাৎ গতিশক্তি + স্থিরশক্তি (Rest Energy) = মোট শক্তি।

$$\therefore E = mc^2 \text{----- (3)}$$

এই সমীকরণের সাহায্যে শক্তি থেকে ভর, কিংবা ভর থেকে শক্তির মান হিসেব করা যায়। ইহাই ভর শক্তির সম্পর্ক। অতি সামান্য ভরকে শক্তিতে রূপান্তর করা হলে ইহার পরিমাণ বিশাল। একই সমীকরণ থেকে আমরা উপলব্ধি করতে পারি, ভর ও শক্তি কোন স্বাধীন সত্তা নয়। সমতুল্য শক্তির বিনিময়ে ভরকে সৃষ্টি করা যায়। আবার ভরকে বিনাশ করে শক্তি সৃষ্টি করা যায়। পারমাণবিক বোমা ইহার একটি উদাহরণ।

১৫.২.২ : তারকার জীবন চক্র

আকাশে ছায়াপথে অর্থাৎ আকাশ গঙ্গায় অসংখ্য তারকা রয়েছে। সূর্য হচ্ছে ইহার অন্যতম তারকা। সূর্য পৃষ্ঠের তাপমাত্রা প্রায় 6000-k এবং ইহার ভিতরের তাপমাত্রা প্রায় ২ কোটি কেলভিন ($20 \times 10^6 K$)। অনাদিকাল থেকে সৌর তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন হয় নাই। অনবরত সূর্য থেকে 4×10^{23} আর্গ/সে: হারে সৌরশক্তির বিকিরণ হচ্ছে। বিজ্ঞানীরা অনুসন্ধান করে জেনেছেন, বর্তমান সৌর বিকিরণের হার কয়েকশত বিলিয়ন বৎসর ধরে চলে আসছে।

সূর্যের এই শক্তির উৎস কোথায়?

১৯৩৯ সনে Bethe এবং Weizsäcker সর্বপ্রথম সূর্যের মধ্যে নিউক্লিয়ার বিক্রিয়াকে সৌরশক্তির উৎস হিসেবে চিহ্নিত করেন। সূর্য কিংবা অন্যান্য নক্ষত্রের মধ্যে প্রচণ্ড তাপমাত্রার কারণে হালকা পরমাণুগুলো প্রচণ্ড গতিবেগে পরস্পর পরস্পরের সঙ্গে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়। ইহাদের মধ্যে ফিউসান (fusion) বিক্রিয়া ঘটে। হাইড্রোজেন পরমাণুসমূহ ফিউসান বিক্রিয়ার মাধ্যমে হিলিয়াম পরমাণুতে পরিণত হওয়ার সময়ে যে ভর ঘাটতি দেখা দেয়, তা $E=mc^2$ সূত্রানুসারে প্রচণ্ড শক্তিতে

রূপান্তরিত হয় ইহাই সৌরশক্তির উৎস হিসেবে বিবেচিত হয়। এক কথায়, তারকার মধ্যে লক্ষ লক্ষ হাইড্রোজেন বোমার বিস্ফোরণের মাধ্যমে তারকার শক্তি বজায় থাকে।

১৫.২.৩ : কৃষ্ণবিবর (Black hole):

কৃষ্ণবিবর এমন একটি বস্তু যেখানে মহাকর্ষের সূত্র কাজ করে না এবং কোন প্রকার আলো এটা থেকে মুক্তি পায় না। সাধারণত ধারণা করা হয় কতগুলো নক্ষত্র নিঃশেষ হওয়ার পর এমন অবস্থার সৃষ্টি হয়। কোন নক্ষত্র ধ্বংস হওয়ার পর এটা সংকুচিত হতে থাকে এবং সংকুচিত হতে হতে এটার ব্যাসার্ধ ক্রান্তিমানের নিচে চলে যায়। তখন এটা কৃষ্ণবিবর হিসেবে পরিণতি লাভ করে। কৃষ্ণবিবরে রূপান্তরিত হওয়ার পর নক্ষত্রের ব্যাসার্ধ 10 কি.মি. অথবা তার চেয়ে ছোট হয়। কৃষ্ণবিবর অসীম ঘনত্বে পৌঁছানোর আগ পর্যন্ত সংকুচিত হতে থাকে। ধারণা করা হয় কোন কোন গ্যালাক্সীর কেন্দ্রের দিকে অবস্থান করে যেগুলোর ভর 10^6 থেকে 10^9 সোলার ভর। ধারণা করা হয় হয়তো ভবিষ্যতে কৃষ্ণবিবরগুলো হবে শক্তিশালী শক্তির উৎস।

সারসংক্ষেপ

কোন বস্তু আলোর বেগের কাছাকাছি বেগে গমন করলে বস্তুর ভর বৃদ্ধি পায় এবং অতিরিক্ত ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয় ইহা ভর শক্তির সূত্র।

কৃষ্ণবিবর : যে বস্তুগুলোতে আলো মুক্তি পায় না এবং পদার্থের সাধারণ সূত্রগুলো কাজ করে না সে বস্তুগুলোকে কৃষ্ণবিবর বলে।

প্রয়োজনীয় সমীকরণ (i) $E = mc^2$

সংক্ষিপ্ত উত্তর-প্রশ্ন

- ১। ভর শক্তির সমীকরণটি লিখুন। অনুচ্ছেদ- ১৫.২.১
- ২। তারকা কি লিখুন। অনুচ্ছেদ ১৫.২.২
- ৩। কৃষ্ণবিবর কি লিখুন। অনুচ্ছেদ ১৫.২.৩

রচনামূলক প্রশ্ন

- ১। আপেক্ষিক তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যসমূহ বর্ণনা করুন। অনুচ্ছেদ ১৫.১.১
- ২। আপেক্ষিক তত্ত্বে কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য পরিবর্তনের সমীকরণটি বের করুন। অনুচ্ছেদ ১৫.১.২
- ৩। ভর শক্তির সমীকরণটি ব্যাখ্যা করুন। অনুচ্ছেদ ১৫.২.১
- ৪। তারকার জীবনচক্র বলতে কি বুঝেন লিখুন। অনুচ্ছেদ ১৫.২.২
- ৫। কৃষ্ণবিবরের প্রকৃতি কিরূপ ব্যাখ্যা করুন। অনুচ্ছেদ ১৫.২.৩।