আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান
Modern Physics

ইউনিট ৮

ভূমিকা (Introduction)

ঊনবিংশ শতাব্দীর শেষ দশকের পূর্ব পর্যন্ড় ডালটনের মতানুসারে মৌলের ক্ষুদ্রতম অংশের নাম ছিল পরমাণু। পরমাণু অবিভাজ্য এবং চার্জ নিরপেক্ষ।

১৮৯৭ খ্রিস্টাব্দে জে, জে, টমসনের পরীক্ষায় প্রমাণিত হলো যে, পরমাণুর চেয়ে হালকা কণিকা বিদ্যমান এবং এর চার্জ রয়েছে। সুতরাং পরমাণু অবিভাজ্য হতে পারে না এবং পরমাণু চার্জ নিরপেক্ষ হলেও চার্জহীন নয়। এখান থেকেই মূলতঃ আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সূচনা। পরবর্তিতে ১৯০০ খ্রিস্টাব্দে ম্যাক্স পণ্ড্যাংক (Max Planck)-এর কোয়ান্টাম তত্ত্ব, ১৯০৫ খ্রিস্টব্দে আইনস্টাইন (Einstein)-এর আপেক্ষিক তত্ত্ব, এছাড়াও বিজ্ঞানী বোর (Bohr), দ্য ব্রগলী (De Broglie), কম্পটন (Compton), হাইজেনবার্গ (Hisenberg) প্রমুখ বিজ্ঞানীর অবদানে আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান সমৃদ্ধিলাভ করে।

আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের এই অধ্যায়ে আমরা আপেক্ষিক তত্ত্ব, পণ্ড্যাংকের তত্ত্ব, দ্য ব্রগলীর তত্ত্ব, কম্পটন তত্ত্ব, হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি সম্বন্ধে জানবো এবং এই তত্ত্বগুলোর প্রয়োগ সম্বন্ধে জ্ঞান লাভ করবো।

পাঠ ৮.১: প্রসঙ্গ কাঠামো
Frame of Reference

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- জড় প্রসঙ্গ কাঠামো ও অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৮.১.১: প্রসঙ্গ কাঠামো, জড় প্রসঙ্গ কাঠামো ও অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো (Frame of Reference, Inertial Frame of Reference and Non-Inertial Frame of Reference):

আমরা যখন কোনো বস্তুর অবস্থান বা বেগ পরিমাপ করি তখন কোনো বিন্দুকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করি। ঐ প্রসঙ্গ কাঠামো সাপেক্ষে বস্তুটির রৈখিক দূরত্বকে তার অবস্থান বলি এবং প্রসঙ্গ কাঠামো সাপেক্ষে বস্তুটির রৈখিক দ্র“তিকে বেগ বলি। পরম গতি বা পরম স্থিতি বলতে কিছু নেই। সকল স্থিতি বা গতিই আপেক্ষিক। এই মহাবিশ্বে কোনো কিছুই স্থির নয়। সুতরাং পরম স্থির বলে কোনো অবস্থান পাওয়া সম্ভব নয় যাকে স্থির প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করা যায়। তাই আমরা প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে যা পরিমাপ করি তা পরম নয়। অর্থাৎ আমরা সব সময় অবস্থান বা বেগকে আপেক্ষিক ভাবে পরিমাপ করি।

কোনো বস্তুর গতি বর্ণনার জন্য ত্রিমাত্রিক স্থানে যে নির্দিষ্ট স্থানাঙ্ক ব্যবস্থা বিবেচনা করা হয় অর্থাৎ যে সুদৃঢ় ত্রিমাত্রিক কাঠামোর সাপেক্ষে বস্তুর গতি বর্ণনা করা যায় তাকে প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

D`vniY ¯^iƒc ejv hvq, আমরা সূর্যকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করে সূর্যে চারিদিকে ঘূর্ণয়মান গ্রহগুলোর বেগ এবং বিভিন্ন সময় তাদের অবস্থান নির্ণয় করে থাকি। পৃথিবীর পৃষ্ঠকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করে বিভিন্ন বহুতল ভবনের উচ্চতা নির্ণয় করি, পৃথিবীর কেন্দ্রকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করে বিভিন্ন কৃত্রিম উপগ্রহের বেগ এবং অবস্থান নির্ণয় করি, রেলওয়ে স্টেশনকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করে যেকোনো ট্রেনের অবস্থান নির্ণয় করি ইত্যাদি।

cÖm½ KvVv‡gv‡K `yB fv‡M fvM Kiv hvq| (K) Ro cÖm½ KvVv‡gv Ges (L) অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো

(ক) জড় প্রসঙ্গ কাঠামোঃ

যে প্রসঙ্গ কাঠামোতে জড়তার সূত্র বা নিউটনের সূত্র প্রযোজ্য তাকে জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে। অন্য ভাবে বলা যায় যে, যদি কোনো পর্যবেক্ষক (পারিপাশ্বিক কাঠামোর সাথে তুলনা না করে) কোনো ভৌত পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করতে না পারে যে সে গতিশীল কিনা তবে সে যে কাঠামোতে অবস্থিত তা জড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

উদাহরণ স্বরূপ ধরা যাক, একটি ট্রেন সমবেগে গতিশীল। ট্রেনটি এমনভাবে চলছে যেন কোনোরূপ শব্দ বা ঝাকুনি না হয়। এই অবস্থায় ট্রেনটির কোনো বিন্দুকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করে এই ট্রেনে অবস্থিত কোনো পর্যবেক্ষকের অবস্থান এবং গতিশীল পর্যবেক্ষকের গতি পরিমাপ করা যায়। সে যদি ট্রেনে স্থির অবস্থায় দাঁড়িয়ে বা বসে থাকে তবে তার পক্ষে বলা সম্ভব নয় যে সে গতিশীল কি না। এখানে আরো লক্ষণীয় যে, যদি পর্যবেক্ষক ট্রেনের সাপেক্ষে গতিশীল থাকে এবং ট্রেনের বাইরের দিকে না তাকায় তবে তার পক্ষে বলা সম্ভব নয় যে সে ট্রেনের গতির দিকে না ট্রেনের গতির বিপরীত দিকে চলছে।

এখানে আরো একটি পরীক্ষা সম্পন্ন করা যেতে পারে যা জড় প্রসঙ্গ কাঠামো সম্বন্ধে আরো পরিস্কার ধারণা জন্মাবে। তাহলো ট্রেনটি সমবেগে চলা অবস্থা ট্রেনে অবস্থিত পর্যবেক্ষক যদি একটি বলকে খাড়া উপর দিকে ছুঁড়ে দেয় তবে সেই বলটি তার হাতেই ফিরে আসবে। আবার ট্রেনটি যদি থেমে থাকতো তাহলোও খাড়া উপর দিকে ছুঁড়ে দেয় বলটি তার হাতে ফিরে আসবে। কারণ যখন বলটি তার হাতে ছিল পর্যবেক্ষকসহ বলটির বেগও ট্রেনের বেগের সমান ছিল অর্থাৎ বলটিও অনুভূমিক বরাবর সমবেগে চলছিল। বলটিকে খাড়া উপর দিকে ছুড়ে দিলে বলটি উলম্ব বরাবর একটি বেগ প্রাপ্ত হলো কিন্তু বলটির অনুভূমিক বেগ অপরিবর্তিত ছিল। বলটি নীচে ফিরে আসতে যে সময় লেগেছে সে সময় ট্রেনটি অনুভূমিক ভাবে যে দূরত্ব গেছে, পর্যবেক্ষক এবং বলটিও সেই দূরত্ব গেছে। তাই বলটি ঠিক পর্যবেক্ষকের হাতেই এসে পড়বে। ফলে সে নিজেকে স্থির বলে মনে করবে। তাই সেই পর্যবেক্ষক কোনো অবস্থাতেই প্রমাণ করতে পারবে না যে সে গতিশীল না স্থির অবস্থায় আছে। আরো সহজ ভাবে বলা যায় যে স্থির বা সমবেগে গতিশীল উভয় ক্ষেত্রেই নিউটনের গতি সূত্রগলো সমভাবে প্রযোজ্য হবে। এই জাতীয় কাঠামোকে জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

(খ) অজড় প্রসঙ্গ কাঠামোঃ

ত্বরান্বিত বা ঘূর্ণনশীল প্রসঙ্গ কাঠামোকে অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো হলো সেই প্রসঙ্গ কাঠামো যে কাঠামোতে নিউটনের গতি সূত্রগুলো সমভাবে প্রযোজ্য হয় না। আমরা কাঠামোকে জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর ট্রেনের উদাহরণটিকে আবার বিবেচনা করি। আমরা দেখেছি ট্রেনটি স্থির থাকলে বা সমবেগে গতিশীল থাকলে পর্যবেক্ষকের ছুঁড়ে দেয়া বলটি তার হাতে এসে পড়তো। কিন্তু যতক্ষণ বলটি বাতাসে ছিল তার মধ্যে ট্রেনটি যদি তার গতিবেগ পরিবর্তন করতো অর্থাৎ বেগ বৃদ্ধি বা হ্রাস ঘটাতো তাহলে তার প্রভাব বলের উপর পড়তো না। তাই বলটি উলম্ব গতির সাথে সমবেগে অনুভূমিক বরাবর চলতো। ফলে ট্রেনে ত্বরণ সৃষ্টি হলে বলটি নীচে ফিরে আসতে যে সময় লেগেছে সে সময় ট্রেনটি অনুভূমিক ভাবে যে দূরত্ব গেছে, পর্যবেক্ষক সেই দূরত্ব যাবে। কিন্তু বলটি তার চেয়ে কম অনুভূমিক দূরত্ব অতিক্রম করবে এবং ট্রেনের মন্দন হলে বলটি ট্রেন ও পর্যবেক্ষকের চেয়ে বেশী অনুভূমিক দূরত্ব অতিক্রম করবে। তাই বলটি পর্যবেক্ষকের হাতে পড়বে না। এর থেকে পর্যবেক্ষক সহজেই অনুভব করতে পারবে যে সে গতিশীল আছে।

আরো একটু ভাবা যাক, একজন ঘুমন্ড় ব্যাক্তিকে লিফ্‌টে উঠিয়ে লিফ্‌ট চালু করা হলো। এরপর ব্যাক্তিটির ঘুম ভাঙ্গলে তার পক্ষে বোঝা সম্ভব নয় যে সে উপরে উঠছে না নীচে নামছে নাকি থেমে আছে। এই অবস্থায় কোনো পরীক্ষা দিয়ে তার গতীয় অবস্থা জানা সম্ভব নয়। কিন্তু লিফ্‌টটি যখন থামবে তখন সে ঠিক বুঝতে পারবে যে, সে গতিশীল ছিল। শুধু তাই নয়, লিফ্‌টটি উপরে উঠছিল না নামছিল তাও সে বুঝতে পারবে।

রাস্ড্র দিয়ে সমবেগে চলন্ড় গাড়িতে বসে থাকলে এবং বাইরে না তাকালে গাড়ির গতীয় অবস্থা জানা সম্ভব নয়। কিন্তু যদি এই অবস্থায় গাড়িটি বাঁক নেয় তবে আরোহী একটি কেন্দ্রবিমুখী বল অনুভব করবে। ফলে একটি কেন্দ্রমুখী ত্বরণের সৃষ্টি হবে এবং তার থেকে সে তার গতীয় অবস্থা জানতে পারবে। সুতরাং ত্বরান্বিত বা ঘূর্ণনশীল প্রসঙ্গ কাঠামো স্থির প্রসঙ্গ কাঠামো উভয় ক্ষেত্রে নিউটনের গতি সূত্রগুলো সমভাবে প্রযোজ্য হবে না। এই জাতীয় কাঠামো জড় প্রসঙ্গ কাঠামো নয়। এই জাতীয় কাঠামোকে অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

সার-সংক্ষেপ :

প্রসঙ্গ কাঠামো : কোনো বস্তুর গতি বর্ণনার জন্য ত্রিমাত্রিক স্থানে যে নির্দিষ্ট স্থানাঙ্ক ব্যবস্থা বিবেচনা করা হয় অর্থাৎ যে সুদৃঢ় ত্রিমাত্রিক কাঠামোর সাপেক্ষে বস্তুর গতি বর্ণনা করা যায় তাকে প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

জড় প্রসঙ্গ কাঠামো: যে প্রসঙ্গ কাঠামোতে জড়তার সূত্র বা নিউটনের সূত্র প্রযোজ্য তাকে জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে। অন্য ভাবে বলা যায় যে, যদি কোন পর্যবেক্ষক (পারিপার্শ্বিক কাঠামোর সাথে তুলনা না করে) কোন ভৌত পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করতে না পারে যে সে গতিশীল কিনা তবে সে যে কাঠামোতে অবস্থিত তা জড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো: ত্বরান্বিত বা ঘূর্ণনশীল প্রসঙ্গ কাঠামোকে অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৮.১

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। নীচের কোনটি জড় প্রসঙ্গ কাঠামো উদাহরণ নয়?
ক. সমবেগে একটি লিফ্টে আরোহন বা অবরোহনের ক্ষেত্রে লিফ্টকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করলে।
খ. সমবেগে গতিশীল একটি বাসকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করলে।
গ. একটি স্পন্দিত সরল দোলকের ববকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করলে।
ঘ. সমবেগে চলন্ড় সাইকেলের বসার সীটের কোনো বিন্দুকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করলে।

২। নীচের কোনটি জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর উদাহরণ?
ক. সমত্বরণে একটি লিফ্টে আরোহন বা অবরোহনের ক্ষেত্রে লিফ্টকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করলে।
খ. সমবেগে গতিশীল একটি বাসকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করলে।
গ. একটি স্পন্দিত সরল দোলকের ববকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করলে।
ঘ. সমবেগে চলন্ড় সাইকেলের রীমের কোনো বিন্দুকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করলে।

পাঠ ৮.২: মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষা
Michelson-Morley Experiment

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষা বর্ণনা করতে পারবেন।
- মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষার ফলাফল বিশেণ্ডষণ করতে পারবেন।

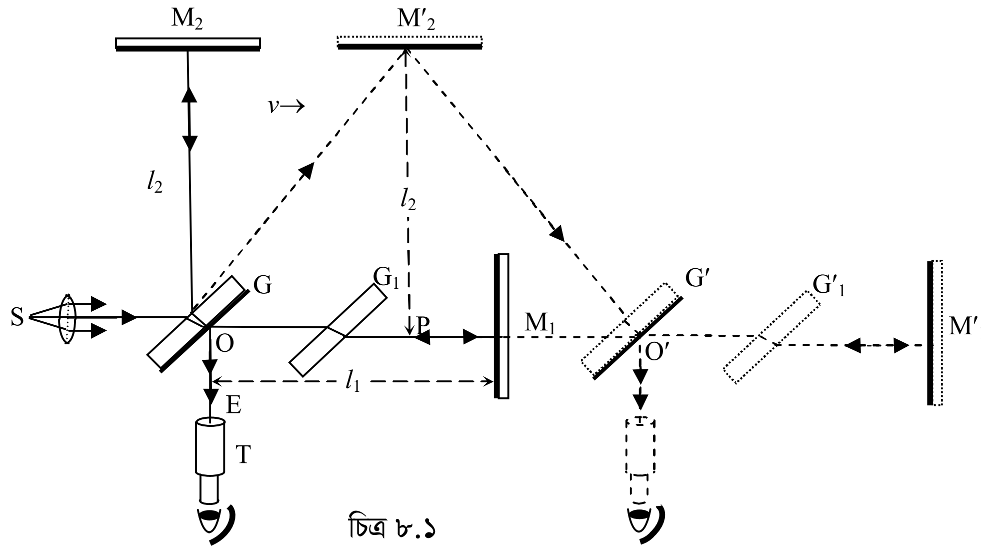
৮.২.১ মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষা (Michelson-Morley Experiment):

যদি আলো শূন্য মাধ্যমে ইথারের মধ্য দিয়ে c বেগে সঞ্চালিত হয় তবে আলোর উৎসের দিকে বা তার বিপরীত দিকে v সমবেগে গতিশীল পর্যবেক্ষকের নিকট আলোর আপেক্ষিক বেগ $c_r = c \pm v$ ।

সূর্যের চারিদিকে পৃথিবীর কক্ষীয় বেগ প্রায় 30.1kms^{-1} । যদি ইথারকে সূর্যের সাপেক্ষে স্থির ধরা হয় তবে পৃথিবী ইথারের মধ্য দিয়ে এই বেগে গতিশীল। তাহলে নির্দিষ্ট দূরত্ব পর্যন্ড় একটি আলোক তরঙ্গ উত্তর-দক্ষিণ বরাবর যাওয়া আসা করাতে প্রয়োজনীয় সময় এবং একই দূরত্ব পূর্ব-পশ্চিম বরাবর যাওয়া আসা করতে সময় সঠিকভাবে পরিমাপ করে এই সময়ের পার্থক্য থেকে ইথারের সাপেক্ষে পৃথিবীর গতি সরাসরি মাপা সম্ভব। মাইকেলসন-মোরলে এই ভাবে আলোর সাহায্যে ইথারের অস্তিত্ব নিরূপণ করার চেষ্টা করেন। মাইকেলসন ও মোরলের পরীক্ষার মূল নীতি ছিল মাইকেলসন ইন্টারফেয়ারোমিটারকে আদি অবস্থান থেকে $90°$ কোণে ঘোরালে ব্যতিচার ডোরার কোনো সরণ ঘটে কিনা। তবে শর্ত

হলো এই যন্ত্রের একটি বাহুতে আলোক রশ্মি পৃথিবীর কক্ষীয় গতির দিকে থাকবে।

যন্ত্রের বর্ণনা ঃ- মাইকেলসন ইন্টারফেয়ারোমিটার চিত্রে দেখানো হলো। M_1 ও M_2 দুটি সমতল দর্পণ যার সম্মুখ ভাগ অর্ধ রৌপ্য প্রলেপ যুক্ত। দর্পণ দুটি পরস্পরের সাথে সমকোণে অবস্থিত দুটি বাহুর শেষ প্রান্তে উলম্ব ভাবে সংযুক্ত। ফলে দর্পণ দুটিও পরস্পরের সাথে সমকোণে অবস্থিত। G হলো অর্ধ রৌপ্য প্রলেপ যুক্ত সমতল কাচ পাত। এটি উলম্ব ভাবে SM_1 এর সাথে 45° কোণে স্থাপিত। যেন OM_1 এবং OM_2 এর আলোক পথ সমান হয় সেজন্য OM_2 এর আলোক পথে G সমতল কাচ পাত এর পুরুত্বের সমান পুরুত্বের এবং এর সমান্তরালে একটি কাচ পাত G_1 স্থাপন করা হয়। S একটি একবর্ণী আলোক উৎস যা উত্তল লেন্সের ফোকাসে অবস্থিত। ব্যাতিচার ডোরা দেখার জন্য টেলিস্কোপ T। পারদ পূর্ণ একটি ভারী পাত্রে সমগ্র যন্ত্রটিকে ভাসিয়ে রাখা হয় যেন কেন্দ্রীয় অক্ষের সাপেক্ষে বিনা বাধায় ঘোরানো যায়।



চিত্র ৮.১

তত্ত্ব ঃ- লেন্সের মধ্য দিয়ে এক গুচ্ছ সমান্তরাল একবর্ণী আলেক রশ্মি G সমতল কাচ পাতের O বিন্দুতে আপতিত হয়ে দুটি অংশে বিভক্ত হয়। একটি প্রতিফলিত এবং অপরটি সমপ্রাবল্যের প্রতিসরিত রশ্মি। এই প্রতিফলিত এবং প্রতিসরিত রশ্মি পরস্পর সমকোণে OM_1 ও OM_2 পথে M_1 ও M_2 দর্পণে লম্বভাবে আপতিত হয়। দর্পণদ্বয় হতে প্রতিফলিত হয়ে M_1O ও M_2O রশ্মিদ্বয় G সমতল কাঁচ পাত দিয়ে যথাক্রমে প্রতিসরিত ও প্রতিফলিত হয়ে O বিন্দুতে ফিরে এসে উভয়ই OE পথে সঞ্চালিত হয়। উভয় আলোক রশ্মি সমপুরুত্বের G ও G_1 কাচের ভিতর দিয়ে দুইবার প্রতিসরিত হয় বলে তাদের আলোকীয় পথ সমান থাকে। যেহেতু M_1 ও M_2 দর্পণ সম্পূর্ণরূপে পরস্পরের সাথে সমকোণে থাকেনা বলে টেলিস্কোপ T তে ব্যাতিচারের ফলে সমান্তরাল অন্ধকার ও উজ্জ্বল ডোরার সৃষ্টি হয়। মাইকেলসন তার যন্ত্রে দর্পণ দুটিকে এমন ভাবে স্থাপন করেছিলেন যেন $OM_1 = OM_2 = l$ হয়। আমরা ব্যাখ্যার সুবিধার জন্য ধরি, $OM_1 = l_1$ এবং $OM_2 = l_2$ যেন $l_1 = l_2 = l$ হয়।

যদি সমগ্র যন্ত্রটি ইথারের সাপেক্ষে স্থির থাকতো তবে দুটি আলোক রশ্মি একই সাথে O বিন্দুতে ফিরে আসতো। মনে করি স্থির ইথারে আলোর বেগ c। ধরি যন্ত্রটিকে এমন ভাবে স্থাপন করা হয়েছে যেন S থেকে M_1 দর্পণের দিকে আলোর রশ্মি পৃথিবীর কক্ষীয় পথের সমান্তরালে আছে। তাহলে আলোক রশ্মি OM_1 পথে গমন করে যখন প্রতিফলিত হচ্ছে তখন M_1 দর্পণটি M_1' অবস্থানে এবং যখন প্রতিফলিত হয়ে G অর্ধ রূপার প্রলেপ যুক্ত কাঁচ পাতে ফিরে আসে তখন এটি G' অবস্থানে।

সুতরাং যন্ত্রের সাপেক্ষে OM_1 বরাবর আলোর বেগ, $c+v$

এবং যন্ত্রের সাপেক্ষে $M_1'O'$ বরাবর আলোর বেগ $c-v$

অতএব আলোক রশ্মির $M_1O + M_1'O'$ পথ অতিক্রম করতে প্রয়োজনীয় সময়,

$$t_1 = \frac{l_1}{c+v} + \frac{l_1}{c-v} = \frac{2l_1 c}{c^2 - v^2} = \frac{2l_1}{c}\left(\frac{1}{1-v^2/c^2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (৮.১)$$

S থেকে M_2 দর্পণের দিকে আলোক রশ্মি পৃথিবীর কক্ষীয় পথের লম্ব ভাবে আছে। তাহলে আলোক রশ্মি OM_2 পথে গমন করে তখন M_2 দর্পণটি vt দূরত্ব সরে গিয়ে M_2' অবস্থান নেয় এবং M_2' দর্পণ থেকে প্রতিফলিত হয়ে আসার পথে আরো vt দূরত্ব সরে G' অর্ধ রূপার প্রলেপ দর্পণের O' অবস্থানে পৌছে। সুতরাং লম্ব পথে যাওয়া আসার সময়, $t_2 = t + t$

এখন, চিত্রানুসারে, $\frac{1}{2}OO' = OP$ এবং $OM_2'^2 = OP^2 + PM_2'^2$

আবার, $OP = vt$ এবং $OM_2' = ct$ এবং $PM_2' = l_2$

তাহলে, $c^2t^2 = v^2t^2 + l_2^2$

বা, $t^2\left(c^2 - v^2\right) = l_2^2$

বা, $t = \frac{l_2}{\sqrt{c^2 - v^2}}$

বা, $t = \frac{l_2}{c}\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

অতএব, $2t = \frac{2l_2}{c}\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

বা, $t_2 = \frac{2l_2}{c}\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (৮.২)$

সুতরাং দুই পথে আলো যাওয়া আসার সময়ের পার্থক্য,

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{2l_1}{c}\left(\frac{1}{1-v^2/c^2}\right) - \frac{2l_2}{c}\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (৮.৩)$$

এখন সমগ্র যন্ত্রটি 90° কোণে ঘোরালে M_1 ও M_2 দুটি অবস্থান পরিবর্তন করবে। সুতরাং এই অবস্থানে আলো যাওয়া আসার সময়ের পার্থক্য নির্ণয়ের জন্য (৮.৩ নং) সমীকরণে l_1 এর স্থলে l_2 এবং l_2 এর স্থলে l_1 বসিয়ে পাই,

$$\Delta t' = t_1' - t_2' = \frac{2l_2}{c}\left(\frac{1}{1-v^2/c^2}\right) - \frac{2l_2}{c}\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

তাহলে মোট সময়ের পার্থক্য,

বা, $\delta t = \Delta t + \Delta t' = \frac{2l_1}{c}\left(\frac{1}{1-v^2/c^2}\right) - \frac{2l_2}{c}\frac{1}{\sqrt{-v^2/c^2}} + \frac{2l_2}{c}\left(\frac{c}{1-v^2/c^2}\right) - \frac{2l_2}{c}\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

বা, $\delta t = \frac{2}{c}\left(\frac{1}{1-v^2/c^2}\right)\left(l_1 + l_2\right) - \frac{2}{c}\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}\left(l_1 + l_2\right)$

বা, $\delta t = \frac{2}{c}\left(l_1 + l_2\right)\left[\left(1 - v^2/c^2\right)^{-1} - \left(1 - v^2/c^2\right)^{-\frac{1}{2}}\right]$

যেহেতু $\frac{v^2}{c^2} << 1$ সূতরাং এর উচ্চঘাত বর্জন করে লিখা যায়,

$$\delta t = \frac{2}{c}(l_1 + l_2)\left[\left(1+\frac{v^2}{c^2}\right) - \left(1+\frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}\right)\right]$$

বা, $\delta t = \frac{2}{c}(l_1 + l_2)\left[1+\frac{v^2}{c^2} - 1 - \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}\right]$

বা, $\delta t = \frac{2}{c}(l_1 + l_2) \times \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} = \frac{v^2}{c^3}(l_1 + l_2)$

এখন, $l_1 = l_2 = l$ বসালে,

$$\delta t = \frac{2v^2 l}{c^3} = \frac{v^2}{c^2} \times \frac{2l}{c}$$

বা, $c\delta t = \frac{v^2}{c^2} \times 2l$ ……………………………………………………(৮.৪)

δt সময়ে রশ্মিদ্বয়ের আলোকীয় পথ পার্থক্য d হলে,

$d = c\delta t = \frac{v^2}{c^2} \times 2l$ ……………………………………………………(৮.৫)

যদি পরীক্ষায় ব্যবহৃত আলো তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ হয় তবে ব্যতিচারের শর্তানুসারে পথ পার্থক্য,

$d = n\lambda = \frac{v^2}{c^2} \times 2l$ এখানে n হলো ডোরার সরণ।

$n = \frac{v^2}{c^2} \times \frac{2l}{\lambda}$ ……………………………………………………(৮.৬)

৮.২.২: মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষার প্রাপ্ত ফলাফল ও বিশেণ্ডষণ (Result of Michelson-Morley Experiment and Explanation):

মাইকেলসন-মোরলে ডোরার সরণ সূক্ষ্ম ও সঠিক ভাবে পরিমাপের জন্য $l = 11\text{m}$, $\lambda = 5.5 \times 10^{-7}\,\text{m}$ এবং $v = 30.1\text{km} = 30.1 \times 10^3\,\text{m}$ ব্যবহার করেন।

এই মানগুলো বসালে, $n = \frac{(30.1\times 10^3)^2}{(3\times 10^8)^2} \times \frac{2\times 11}{5.5\times 10^{-7}} = 0.4$

সুতরাং প্রথম অবস্থান থেকে সমগ্র যন্ত্রটি 90° কোণে ঘোরালে 0.4 সংখ্যক ডোরার সরণ হবার কথা। কিন্তু পরীক্ষা লব্ধ ফল থেকে দেখা গেল যে, সমগ্র যন্ত্রটি বারবার 90° কোণে ঘোরালে ডোরার কোনো সরণ ঘটছে না। অথচ তাঁর যন্ত্রে $\frac{1}{100}$ অংশ সরণও পরিমাপ করা যেত।

মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষণের পর প্রায় ৫০ বছর ধরে বিভিন্ন বিজ্ঞানীকগণ দিনে ও রাতের বিভিন্ন সময়, বিভিন্ন অক্ষাংশে, বিভিন্ন ঋতুতে পরীক্ষা সম্পাদন করেন এমনকি মহাকাশেও এই পরীক্ষা সম্পন্ন করা হয় এবং একই ফল পান। এই ঋণাত্মক ফলাফল থেকে সিদ্ধান্তে্ড় উপনিত হন যে, ”ইথারের সাপেক্ষে পৃথিবীর বেগ শূন্য”। অর্থাৎ ইথার নামক কল্পিত পদার্থের কোন অস্ড়িত্ব নাই। এছাড়া আরো প্রমাণিত হয় যে আলোর বেগ পরম বেগ।

মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষার ঋণাত্মক ফলাফল গ্যালিলিও এর বেগ রূপান্ড়র সূত্র অকার্যকর করে দেয়। হাইগেনসের ইথার মাধ্যমে আলোর তরঙ্গ মতবাদের মৃত্যু ঘটে। আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্বের দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

সার-সংক্ষেপ :

মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষার ঋণাত্মক ফলাফল গ্যালিলিও এর বেগ রূপান্তর সূত্র অকার্যকর করে দেয়। হাইগেনসের ইথার মাধ্যমে আলোর তরঙ্গ মতবাদের মৃত্যু ঘটে। আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্বের দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৮.২

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

১। মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষায় সমতল দর্পণ দুটির মধ্যে একটির আলোক পথের মাঝে একটি কাচফলক রাখা হয় কেন?

ক. আলোর পথ পরিবর্তনের করার জন্য
খ. আলোকীয় পথ সমান করার জন্য
গ. আলোর ব্যাতিচার ঘটানোর জন্য
ঘ. আলোর অপবর্তন দূর করার জন্য

২। মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষায় প্রমাণিত হয় যে,

i. আলোর বেগ পরম বেগ
ii. এক প্রকার তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ
iii. ইথারের কোনো অস্তিত্ব নাই

নীচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii
খ. ii ও iii
গ. i ও iii
ঘ. i, ii ও iii

পাঠ ৮.৩: আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব
Einstein's Theroy of Relativity

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৮.৩.১: আপেক্ষিকতার নীতি (Principle of Relativity):

আমরা যখন কোনো বস্তুর অবস্থান বা বেগ পরিমাপ করি তখন কোনো স্থির বিন্দুকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করি। ঐ প্রসঙ্গ কাঠামো সাপেক্ষে বস্তুটির রৈখিক দূরত্বকে তার অবস্থান বলি এবং প্রসঙ্গ কাঠামো সাপেক্ষে বস্তুটির রৈখিক দ্রুতিকে বেগ বলি। কিন্তু এই মহাবিশ্বে কোনো কিছুই স্থির নয়। সুতরাং পরম স্থির বলে কোনো অবস্থান পাওয়া সম্ভব নয় যাকে স্থির প্রসঙ্গ কাঠামো হিসাবে বিবেচনা করা যায়। তাই আমরা প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে যা পরিমাপ করি তা পরম নয়। অর্থাৎ আমরা সব সময় অবস্থান বা বেগকে আপেক্ষিকভাবে পরিমাপ করি।

চিরায়ত বল বিদ্যার মতে স্থান, ভর ও সময় ধ্রুব রাশি। কিন্তু ১৯০৫ সালে আইনস্টাইন এই ধারণার আমূল পরিবর্তন ঘটান। তার তত্ত্ব অনুসারে স্থান, ভর ও সময় ধ্রুব রাশি নয়। এগুলো সকলই আপেক্ষিক। বেগের পরিবর্তনের সাথে সাথে এদের পরিবর্তন হয়। কেবল মাত্র শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগই পরম বেগ। উচ্চ গতিশীল (আলোর কাছাকাছি বেগে) বস্তুর ক্ষেত্রে এই ধারণা পরীক্ষালব্ধমানের সাথে সম্পূর্ণভাবে মিলে যায়। আইনস্টইনের এই তত্ত্বকে আপেক্ষিক বলা হয়। পরমাণবিক ও নিউক্লিয় পদার্থবিজ্ঞানে এই তত্ত্বের গুরুত্ব অপরিসীম। আইনস্টাইন তার আপেক্ষিক তত্ত্বে বলেন প্রাকৃতিক নিয়মাবলীর গাণিতিক সূত্রসমূহ সকল জড় কাঠামোতে অভিন্ন। এটাই আপেক্ষিকতার নীতি। ১৯১৬ সালে আইনস্টাইন আপেক্ষিকতার আরো একটি তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। মহাকর্ষ, নাক্ষত্রিক গতিপ্রকৃতি, সম্প্রসারণশীল মহাবিশ্বের ধারণা ইত্যাদি এই তত্ত্বের ভিত্তিতে ব্যাখ্যা প্রদান করা যায়।

সুতরাং আইনস্টাইন তার আপেক্ষিক তত্ত্বকে দু'ভাগে ভাগ করেন, যথা-

১) বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব (Special Theory of Relativity)

২) সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব (General Theory of Relativity)

বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব মূলতঃ স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে সমবেগে গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর কোনো ঘটনা বিশেণ্ঢষণ বা কোনো ভৌতরাশির পরিমাপ সংক্রান্ড় আলোচনা। ভর, সময়, দৈর্ঘ্য, বেগ ও শক্তির আপেক্ষিকতা ইত্যাদি বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের অন্ড়র্ভুক্ত। অপরদিকে সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব মূলতঃ স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে অসমবেগে গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর কোনো ঘটনা বিশেণ্ঢষণ বা কোনো ভৌতরাশির পরিমাপ সংক্রান্ড় আলোচনা। মহাকর্ষ, নাক্ষত্রিক গতিপ্রকৃতি, সম্প্রসারণশীল মহাবিশ্বের ধারণা ইত্যাদির ব্যাখ্যা ইত্যাদি সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের অন্ড়র্ভুক্ত। স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে অসমবেগে গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোটি যখন সমবেগে গতিশীল হয় তখন সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বটি বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বে পরিণত হয়। সুতরাং বলা যায়, বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব হলো সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের একটি বিশেষ রূপ। আমরা এই অধ্যায়ে শুধু বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব নিয়ে আলোচনা করবো।

ঘূর্ণনশীল বা তরান্বিত প্রসঙ্গ কাঠামোর জন্য যে আপেক্ষিক তত্ত্ব তাকে সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব বলে।

৮.৩.২: বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের স্বীকার্য:

আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব দুটি মৌলিক স্বীকার্যের উপর প্রতিষ্ঠিত। **১৯০৫** সালে আইনস্টাইন এই দুটি স্বীকার্য প্রদান করেন।

প্রথম স্বীকার্যঃ- স্থির বা গতিশীল সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের মৌলিক সূত্রসমূহ অপরিবর্তিত থাকে।

দ্বিতীয় স্বীকার্যঃ- শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের জন্য একই এবং তা আলোর উৎস বা পর্যবেক্ষকের গতির উপর নির্ভরশীল নয়।

প্রথম স্বীকার্যের ব্যাখ্যাঃ- প্রথম স্বীকার্য অনুসারে সকল জড় কাঠামো পরস্পর সমতুল্য। পরম স্থির কোন কাঠামো থাকতে পারেনা। সুতরাং সকল গতিই আপেক্ষিক এবং সকল স্থিতিই আপেক্ষিক। ধরা যাক দুজন পর্যবেক্ষক পরস্পরের সাপেক্ষে ধ্র্ব বেগে গতিশীল। এই দুজনের মধ্যে কে গতিশীল এবং কে স্থির তা পরস্পরের পক্ষে নির্ণয় করা অসম্ভব। একটি সমবেগে গতিশীল ট্রেনযাত্রী কামরার ভেতরে কোনো পরীক্ষা দিয়ে প্রমাণ করতে পারবেনা যে ট্রেনটি স্থির না গতিশীল। উদাহরণ স্বরূপ ধরা যাক স্থির অবস্থায় থাকা ট্রেনের পর্যবেক্ষক ট্রেনে বসে একটি বলকে উপরদিকে ছুড়ছে এবং পতন কালে লুফে নিচ্ছে। সে দেখবে বলটি সোজা উপরে কিছুদুর উঠে আবার সেই পথে তার হাতে নেমে আসছে। একই পরীক্ষণ যদি সমবেগে গতিশীল ট্রেনের পর্যবেক্ষক সম্পন্ন করতেন তবে তিনিও তাই দেখতেন। সুতরাং সে পর্যবেক্ষকের পক্ষে বলা সম্ভব নয় যে তিনি গতিশীল কি গতিশীল নন। পদার্থবিজ্ঞানের সকল পরীক্ষার ফল ট্রেনটি স্থির থাকলেও যা হবে ট্রেনটি সুষম বেগে গতিশীল থাকলেও তাই পাওয়া যাবে। সুতরাং পরস্পরের সাথে সমবেগে গতিশীল সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রগুলো একইরূপ সমীকরণ দিয়ে প্রকাশ করা যায়।

দ্বিতীয় স্বীকার্যের ব্যাখ্যাঃ এই স্বীকার্য অনুসারে স্থানাঙ্ক কাঠামোর উপর আলোর গতি নির্ভর করেনা। স্থির কাঠামোর সাপেক্ষে আলোর বেগ যা হবে, যে কোন দিকে যে কোন চলমান কাঠামোর সাপেক্ষে আলোর বেগ তাই হবে। আলোক উৎস গতিশীল হলেও পর্যবেক্ষকের কাছে আলোরে বেগের কোনো পরিবর্তন ঘটবেনা। অর্থাৎ আলোর বেগ পরম বেগ।

সার-সংক্ষেপ :

বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের স্বীকার্য:

প্রথম স্বীকার্যঃ- স্থির বা গতিশীল সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে পদার্থ বিজ্ঞানের মৌলিক সূত্রসমূহ অপরিবর্তিত থাকে।

দ্বিতীয় স্বীকার্যঃ- শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের জন্য একই এবং তা আলোর উৎস বা পর্যবেক্ষকের গতির উপর নির্ভরশীল নয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৮.৩

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের স্বীকার্য কয়টি?

ক. ১টি খ. ২টি গ. ৩টি ঘ. ৪টি

২। আপেক্ষিক তত্ত্ব কত প্রকার?

ক. ১টি খ. ২টি গ. ৩টি ঘ. ৪টি

পাঠ ৮.৪: গ্যালিলিও রূপান্তর
Gallilean Transformation

উদ্দেশ্য

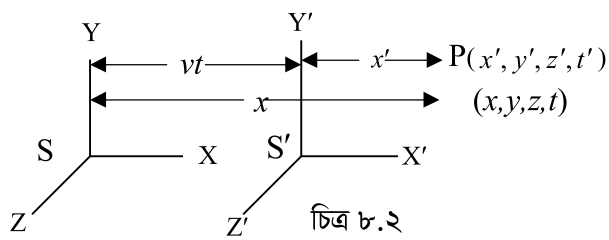
এ পাঠের শেষে আপনি-

- গ্যালিলিও রূপান্তর ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৮.৪.১: গ্যালিলিও রূপান্তর (Gallilean Transformation):

যদি কোনো ঘটনা একই সাথে দুটি পৃথক জড় প্রসঙ্গ কাঠামো থেকে পর্যবেক্ষণ করা হয় যখন কাঠামো দুটি পরস্পরের সাথে v বেগে X-অক্ষ বরাবর গতিশীল, তবে স্বাভাবিক ভাবেই দুটি কাঠামোতে দুই প্রকার দুই সেট স্থানাংক পাওয়া যাবে। উক্ত ঘটনার জন্য দুই সেট স্থানাংকের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপনের জন্য যে সমীকরণ পাওয়া যায় তাকে গ্যালিলিও রূপান্তর সমীকরণ বলে। আমরা বাস্তবে যে ঘটনাগুলো পর্যবেক্ষণ করি এবং অনুভব করি গ্যালিলিও রূপান্তর বিধি দ্বারা গ্রহণযোগ্য ব্যাখ্যা পাওয়া যায়। আমরা পরে দেখবো যে, যেসব বস্তুর বেগ আলোর বেগের সাথে তুলনীয় নয় তাদের ক্ষেত্রে গ্যালিলিও রূপান্তর বিধি প্রযোজ্য।

মনে করি, একটি প্রসঙ্গ কাঠামো S এর সাপেক্ষে S' প্রসঙ্গ কাঠামোটি X-অক্ষ বরাবর v সমবেগে গতিশীল। $t=0$ সময়ে S এবং S' প্রসঙ্গ কাঠামোটির মূল বিন্দু একই অবস্থানে ছিল। P বিন্দুর সংঘটিত কোনো ঘটনার স্থান ও কালাঙ্ক S এর সাপেক্ষে (x,y,z,t) এবং S'-এর সাপেক্ষে (x',y',z',t')। $t=t'$ সময়ে S' প্রসঙ্গ কাঠামোটি $+X$-অক্ষ বরাবর vt দূরে অবস্থান করবে।



চিত্র ৮.২

এখন S' প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষক কর্তৃক পরিমাপকৃত S প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে P বিন্দুর স্থানাংক,

$x = x' + vt'$

কিন্তু, গ্যালিলিও রূপান্তর বিধি অনুসারে সকল কাঠামোতে সময় অভিন্ন অর্থাৎ $t = t'$

অতএব, $x = x' + vt$ …(৮.৭)

আবার S প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষক কর্তৃক পরিমাপকৃত S' প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে P বিন্দুর স্থানাংক,

$x' = x - vt$ …(৮.৮)

এবং যেহেতু y ও z অক্ষ বরাবর দুই কাঠামোর কোনো আপেক্ষিক বেগ নাই সেহেতু,

$y' = y$ …(৮.৯)

$z' = z$ … … … … … … … … … … … … … ...… … … … … … … … … … … (৮.১০)

(৮.৭), (৮.৮), (৮.৯) এবং (৮.১০) নং সমীকরণগুলোই গ্যালিলিও রূপান্তর।

এখন সমীকরণগুলোকে সময়ের সাপেক্ষে ব্যবকলন করলে,

$$\frac{dx}{dt}=\frac{dx'}{dt}+v \quad \text{বা, } v_x=v'_x+v \quad \ldots \ldots \quad (৮.১১)$$

$$\frac{dx'}{dt}=\frac{dx}{dt}-v \quad \text{বা, } v'_x=v_x-v \quad \ldots \ldots \quad (৮.১২)$$

$$\frac{dy}{dt}=\frac{dy'}{dt} \quad \text{বা, } v_y=v'_y \quad \ldots \ldots \quad (৮.১৩)$$

$$\frac{dz}{dt}=\frac{dz'}{dt} \quad \text{বা, } v_z=v'_z \quad \ldots \ldots \quad (৮.১৪)$$

আপেক্ষিক তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে S ও S' প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষক কর্তৃক X-অক্ষ বরাবর পরিমাপকৃত আলোর বেগ একই হবে। S প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষক কর্তৃক পরিমাপকৃত আলোর বেগ c হলে, (৮.১১) ও (৮.১২) নং সমীকরণে বসালে, $c=c'+v$ বা, $c'=c-v$

সুতরাং, গ্যালিলিও রূপান্তর অনুসারে ঐ বেগ পাওয়া যাবে $c'=c-v$ অর্থাৎ $c'\neq c$ যা আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্যের পরিপন্থী। কাজেই আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্য গ্যালিলিও রূপান্তর বিধি মেনে চলেনা।

সার-সংক্ষেপ :

গ্যালিলিও রূপান্তর বিধি:

$x=x'+vt$, $x'=x-vt$, $y'=y$, $z'=z$

$v_x=v'_x+v$, $v'_x=v_x-v$, $v_y=v'_y$, $v_z=v'_z$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৮.৪

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। গ্যালিলিও রূপান্তর বিধি অনুসারে S এবং S' কাঠামোর স্থানাঙ্কগুলো হলে যথাক্রমে

ক. x,y,z,t এবং x',y',z',t' খ. x,y,z,t' এবং x',y',z',t

গ. x,y,z,t এবং x',y',z',t ঘ. x',y',z',t' এবং x,y,z,t

২। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্য গ্যালিলিও রূপান্তর বিধি মেনে চলে না কারণ এই বিধিতে

i. আলোর বেগকে আপেক্ষিক বেগ ধরা হয়েছে।

ii. দুই কাঠামোতেই সময় অপরিবর্তীত ধরা হয়েছে।

iii. দুই কাঠামোতেই নিউটনের সূত্রগুলো সমভাবে প্রযোজ্য।

নীচের কোনটি সঠিক

ক. i ও ii খ. ii ও iii

গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

পাঠ ৮.৫ : লরেন্টজ রূপান্তর
Lorentz Transformation

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- লরেন্টজ রূপান্তর ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৮.৫.১: লরেঞ্জ রূপান্তর (Lorentz Transformation)

যেহেতু গ্যালিলিও রূপান্তর বিধি আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্যের পরিপন্থী। তাই আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্য মেনে নেয়া হয় তাহলে ভিন্ন ধরনের রূপান্তর বিধির অবতারণা করা প্রয়োজন।

লরেঞ্জ আলোর বেগকে পরমবেগ বিবেচনা করে তার রূপান্তর বিধি উপস্থাপন করেন। তিনি আরো ধরে নেন যে, গতিশীল কাঠামোর ঘড়ির সময় এবং স্থির কাঠামোর ঘড়ির সময় এক হতে পারেনা। কারণ উভয় কাঠামোতেই আলোর বেগ সমান। আবার যেহেতু জড় কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সকল সূত্র সমভাবে প্রযোজ্য সেহেতু গতিশীল কাঠামোর পর্যবেক্ষকের পক্ষে তার ঘড়ির সময়ের ভিন্নতা অনুধাবন করা সম্ভব নয়। সুতরাং লরেঞ্জ ধারণা করেন যে গতিশীল কাঠামোর ঘড়ির প্রতি সেকেন্ডের মান স্থির কাঠামোর ঘড়ির প্রতি সেকেন্ডের মানের চেয়ে ভিন্ন হবে। সুতরাং $t' \neq t$ যা গ্যালিলিও রূপান্তর বিধি মানা হয়নি। তাছাড়া লরেঞ্জ আইনস্টেইনের দ্বিতীয় স্বীকার্য সমর্থন করেন।

লরেঞ্জ গ্যালিলিওর একমাত্রিক ও রৈখিক রূপান্তর বিধিগুলো একটি ধ্রুবকের মাধ্যমে প্রকাশ করেন। এই ধ্রুবকটি অবস্থান ও সময়ের উপর নির্ভরশীল এবং গতিশীল কাঠামোর বেগের উপর নির্ভরশীল হতে পারে। যেহেতু গতিশীল কাঠামোর বেগ অপরিবর্তিত থাকে সেহেতু উভয় ক্ষেত্রেই এই ধ্রুবক একই। যদি ধ্রুবকের মান একক হয় তবে লরেঞ্জ রূপান্তর বিধি এবং গ্যালিলিও রূপান্তর বিধি অভিন্ন হবে। লরেঞ্জ রূপান্তর বিধিগুলো লেখা যায়,

$x' = k(x - vt)$ ……………………………………………… (৮.১৫)

$x = k(x' + vt')$ ……………………………………………… (৮.১৬)

$y' = y$ ……………………………………………… (৮.১৭)

এবং $z' = z$ ……………………………………………… (৮.১৮)

এবং আইনস্টেইনের দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে,

$x = ct$ ……………………………………………… (৮.১৯)

$x' = ct'$ ……………………………………………… (৮.২০)

(৮.১৫), (৮.১৬), (৮.১৯) এবং (৮.২০) নং সমীকরণের মাধ্যমে k এর মান নির্ণয় করা যায়।

(৮.১৫) নং সমীকরণে (৮.১৯) ও (৮.২০) সমীকরণের মান বসিয়ে পাই,

$ct' = k(ct - vt) = kt(c - v)$ ……………………………………………… (৮.২১)

(৮.১৬) নং সমীকরণে (৮.১৯) ও (৮.২০) সমীকরণের মান বসিয়ে পাই,

$ct = k(ct' + vt') = kt'(c + v)$ ……………………………………………… (৮.২২)

(৮.২১) ও (৮.২২) নং সমীকরণ গুণ করে পাই, $c^2tt' = k^2tt'(c^2 - v^2)$

বা, $k^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2} = \frac{c^2}{c^2\left(1 - v^2/c^2\right)} = \frac{1}{1 - v^2/c^2}$

বা, $k = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... ... (৮.২৩)

যদি বস্তুর বেগ আলোর বেগের তুলনায় নগন্য হয় অর্থাৎ $v << c$ হয় তবে (৮.২৩) নং সমীকরণে v^2/c^2 এর মানকে উপেক্ষা করা যায়, সেক্ষেত্রে লরেঞ্জ রূপান্ড়র বিধি এবং গ্যালিলিও রূপান্ড়র বিধি অভিন্ন। কিন্তু যদি বস্তুর বেগ আলোর বেগের তুলনায় উপেক্ষণীয় না হয় অর্থাৎ বস্তুর বেগ আলোর বেগের কাছাকাছি হয় তবে v^2/c^2 এর মানকে উপেক্ষা করা যায় না, সেক্ষেত্রে লরেঞ্জ রূপান্ড়র বিধি এবং গ্যালিলিও রূপান্ড়র বিধি অভিন্ন নয়।

(৮.১৫) ও (৮.১৬) নং সমীকরণে (৮.২৩) নং সমীকরণের মান বসালে অর্থাৎ k এর মান বসালে,

$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... ... (৮.২৪)

এবং $x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... ... (৮.২৫)

(৮.২৪) নং সমীকরণে (৮.১৯)ও (৮.২০) নং সমীকরণের মান বসালে,

$ct' = \frac{ct - v\frac{x}{c}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ [যেহেতু $x = ct$ বা, $t = \frac{x}{c}$]

বা, $t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... ... (৮.২৬)

(৮.২৪) নং সমীকরণে (৮.১৯)ও (৮.২০) নং এর মান বসালে, $ct = \frac{ct' + v\frac{x'}{c}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ [যেহেতু $x' = ct'$ বা, $t' = \frac{x'}{c}$]

বা, $t = \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... ... (৮.২৭)

অতএব,

$$\left.\begin{array}{l} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \\ y' = y, \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \end{array}\right]$$

এটাই লরেঞ্জ-এর রূপান্ড়র বিধি। ... ... (৮.২৮)

এবং

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \\ y &= y', \\ z &= z', \\ t &= \frac{t' + \dfrac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \end{aligned}\right]$$

একে লরেঞ্জ-এর বিপরীত রূপান্ড়র বিধি বলে। … … … … … … … … … (৮.২৯)

আপেক্ষিক তত্ত্বের প্রমাণগুলো অনুধাবণ করার জন্য নীচের বিষয়গুলো অত্যন্ড় যত্নের সাথে মনে রাখতে হবে।

১। প্রায় সকল ক্ষেত্রেই স্থির কাঠামোর পর্যবেক্ষক গতিশীল কঠামোর বিষয়গুলো পরিমাপ করে।

২। যে পর্যবেক্ষক যে কাঠামোতে থাকে সে তার কাঠামোতে থাকা ঘড়ির সময়কে অনুসরণ করে।

৩। স্থির কাঠামোর পর্যবেক্ষক স্থির কাঠামোতে থাকা বিষয়গুলো পরিমাপের যে মান পাবে, গতিশীল কাঠামোর পর্যবেক্ষক গতিশীল কাঠামোতে থাকা একই বিষয়গুলো পরিমাপের একই মান পাবে।

৪। লরেঞ্জ রূপান্ড়র বিধিতে কাঠামোর বেগ v এর স্থলে $-v$ বসালে লরেঞ্জ-এর বিপরীত রূপান্ড়র বিধি পাওয়া যায়।

সার-সংক্ষেপ :

লরেঞ্জ রূপান্ড়র বিধি:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

$$y' = y, \quad z' = z$$

$$t' = \frac{t - \dfrac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

বিপরীত লরেঞ্জ রূপান্ড়র বিধি:

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

$$y = y', \quad z = z',$$

$$t = \frac{t' + \dfrac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৮.৫

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। কি পরিবর্তন করলে লরেঞ্জ রূপান্ড়র বিধিতে কাঠামো থেকে লরেঞ্জ-এর বিপরীত রূপান্ড়র বিধি পাওয়া যায়?

ক. x এর স্থলে $-x$ বসালে   খ. c এর স্থলে $-c$ বসালে

গ. t এর স্থলে $-t$ বসালে   ঘ. v এর স্থলে $-v$ বসালে

২। $X-$ অক্ষ বরাবর v বেগে গতিশীল কণার ক্ষেত্রে নীচের কোনটি লরেঞ্জ রূপান্ড়র বিধি?

ক. $x' = \dfrac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ খ. $y' = \dfrac{y - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

গ. $z' = \dfrac{z - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ঘ. $t' = \dfrac{t - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

পাঠ ৮.৬ : দৈর্ঘ্য ও সময়ের আপেক্ষিকতা : দৈর্ঘ্য সংকোচন, কাল দীর্ঘায়ন
Relativity of Length and Time: Length Contraction, Time Dilation.

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে দৈর্ঘ্য সংকোচন বর্ণনা করতে পারবেন।
- আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে কাল দীর্ঘায়ন বর্ণনা করতে পারবেন।

৮.৬.১: আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে দৈর্ঘ্য ও সময়ের আপেক্ষিকতা (Relativistic Length & Time According to the Theory of Relativity):

লরেঞ্জ রূপান্তর বিধি অনুসারে, স্থানাঙ্ক এবং সময়াঙ্ক জড় কাঠামোর আপেক্ষিক বেগের উপর নির্ভরশীল। সুতরাং দৈর্ঘ্য এবং সময় পরম হতে পারে না। দৈর্ঘ্য ও সময়ের আপেক্ষিকতার বিষয়গুলো আইনস্টইনের বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখা করা যায়।

৮.৬.২: দৈর্ঘ্য সংঙ্কোচন (Length contraction):

কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিমাপ সকল কাঠামোতে সমান নয় অর্থাৎ দৈর্ঘ্যের পরিমাপ পরম নয়। এর দৈর্ঘ্য পর্যবেক্ষক ও বস্তুর মধ্যে আপেক্ষিক গতির উপর নির্ভরশীল। সুতরাং কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিমাপ আপেক্ষিক।

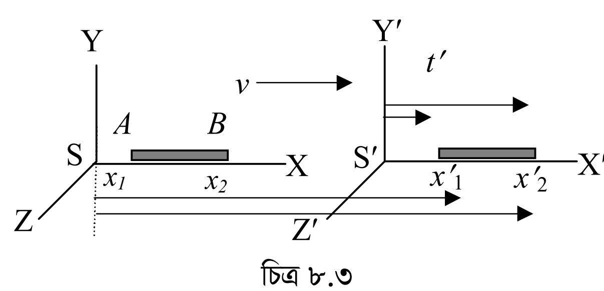
গতিশীল কাঠামোতে অবস্থিত কোন দন্ডের (কাঠামোর গতির দিক বারাবর) দৈর্ঘ্য স্থির কাঠামোতে অবস্থিত পর্যবেক্ষক পরিমাপ করলে তার দৈর্ঘ্য ছোট হয়। একে দৈর্ঘ্য সংঙ্কোচন বলে।

S এবং S' দুটি কাঠামো বিবেচনা করি [চিত্রঃ ৮.৩]। এখানে S কাঠামো স্থির এবং S' কাঠামো গতিশীল। স্থির অবস্থায় একটি দন্ড AB বিবেচনা করি, যা S কাঠামোর X অক্ষ বরাবর রাখা আছে। এ কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক দন্ডটির দু'প্রান্তের স্থানাঙ্ক নির্ণয় করলেন x_1 এবং x_2। যেহেতু S কাঠামো স্থির সুতরাং স্থির কাঠামোতে দন্ডটির দৈর্ঘ্য, $L_0 = x_2 - x_1$.

S' কাঠামো S কাঠামো সাপেক্ষে v ধ্রুব বেগে গতিশীল। এখন একজন পর্যবেক্ষক একই সময়ে S কাঠামোর AB দন্ডের দু'প্রান্তের স্থানাঙ্ক নির্ণয় করলেন x_1' এবং x_2'। সুতরাং S' কাঠামোতে দন্ডটির দৈর্ঘ্য, $L = x_2' - x_1'$

অতএব, লরেঞ্জ-এর বিপরীত রূপান্তর বিধি অনুসারে x_1 এবং x_2 এর সাথে x_1' এবং x_2' এর সম্পর্ক হলো,

$$x_1 = \frac{x_1' + vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \text{ এবং } x_2 = \frac{x_2' + vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$



চিত্র ৮.৩

এখন উপরের সমীকরণ x_2 থেকে x_1 বিয়োগ করে পাই–

$$x_2 - x_1 = \frac{x_2' + vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{x_1' + vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

বা, $L_0 = \dfrac{x_2' - x_2'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ $\qquad [\because L_0 = x_2 - x_1]$

বা, $= \dfrac{L}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$ $[\because L = x_2' - x_1']$

বা, $L = L_o \sqrt{1-\dfrac{v^2}{C^2}}$ ....(৮.৩০)

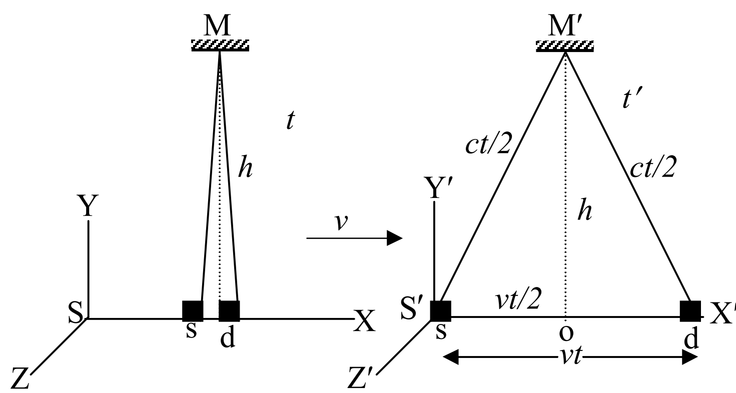
যেহেতু বস্তুর বেগ কখনই আলোর বেগ অপেক্ষা বেশী বা সমান হতে পারেনা সেহেতু $\dfrac{v^2}{c^2} < 1$

অতএব, $\sqrt{1-v^2/c^2} < 1$ তাই $L < L_0$। অর্থাৎ স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামো থেকে পরিমাপকৃত গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্য (গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোটি যে অক্ষ বরাবর গতিশীল সেই অক্ষ বরাবর অবস্থিত বস্তু) স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে অবস্থিত বস্তুর দৈর্ঘ্য অপেক্ষা ছোট হয়। যদি $v << c$ হয় তবে $\dfrac{v^2}{c^2} \approx 0$, সেক্ষেত্রে $L = L_0$ হবে। অর্থাৎ সাধারণ বেগে গতিশীল বস্তুর ক্ষেত্রে দৈর্ঘ্য সংকোচন পরিলক্ষিত হয় না। বস্তুর বেগ যতই আলোর বেগের নিকটবর্তী হবে দৈর্ঘ্য তত বেশী সংকুচিত হবে।

৮.৬.৩: কাল দীর্ঘায়ণ (Time Dilation)

সময়ের পরিমাপ সকল কাঠামোতে সমান নয় অর্থাৎ সময়ের পরিমাপ পরম নয়। দুটি জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর মধ্যে যদি আপেক্ষিক গতি থাকে তবে এই দুই কাঠামোতে অবস্থিত দুইজন পর্যবেক্ষকের নিকট সংঘটিত দুটি ঘটনার মধ্যবর্তী সময়ের ব্যবধান সমান হবে না। স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের নিকট সময়ের ব্যবধান গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের নিকট সময়ের ব্যবধান অপেক্ষা বেশী হয়।

গতিশীল কাঠামোতে অবস্থিত কোনা ঘড়িতে পরিমাপকৃত কোনো ঘটনার সময়কাল, স্থির কাঠামোতে অবস্থিত পর্যবেক্ষকের নিকট দীর্ঘ হয়। একে কাল দীর্ঘায়ণ বা সময় প্রসারণ বলে।



চিত্র ৮.৪

মনে করি, S স্থির কাঠামোতে একজন পর্যবেক্ষক s আলোক উৎস থেকে একটি আলোক রশ্মি h উচ্চতায় অবস্থিত একটি দর্পণে প্রতিফলিত করে d গ্রাহক যন্ত্রে আপতিত হবার সময় নিরূপণ করছেন। একই পরীক্ষণ যদি X-অক্ষ বরাবর v ধ্রুব বেগে গতিশীল S' কাঠামোর পর্যবেক্ষক সম্পন্ন করেন তবে তার ঘড়িতে যে সময় পরিমাপ করবেন তা S স্থির কাঠামোতে পরীক্ষার সময় এই কাঠামোতে অবস্থিত ঘড়িতে যে সময় (t_0) দেখিয়েছে তার সংখ্যা মানের সমান (বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের প্রথম স্বীকার্য অনুসারে)। গতিশীল S' কাঠামোর পর্যবেক্ষকের পরীক্ষা সম্পন্ন করতে যদি t' সময় লাগে তবে, $2h = ct'$

বা, $2h = ct_0$

কারণ $t' = t_0$ (বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের প্রথম স্বীকার্য অনুসারে)

বা, $4h^2 = c^2 t_0^{\ 2}$ ... ... (৮.৩১)

এখন যদি স্থির কাঠামোর পর্যবেক্ষক গতিশীল কাঠামোর পরীক্ষণীয় ঘটনাটি পর্যবেক্ষণ করেন তবে তিনি ভিন্ন চিত্র দেখবেন। কারণ আলোক উৎস s হতে দর্পণে যেতে ও d গ্রাহক যন্ত্রে আসতে যে সময় লাগে যে সময়ে কাঠামোটি vt দূরত্ব অতিক্রম করবে। ফলে তিনি আলোর গমন পথ sM′d দেখবেন।

পিথাগোরাসের সূত্রানুসারে, $sM'^2 = h^2 + Os^2$

যদি স্থির কাঠামোর পর্যবেক্ষকের নিকট এই সময় t মনে হয় তবে,

মান বসালে, $\left(\frac{ct}{2}\right)^2 = h^2 + \left(\frac{vt}{2}\right)^2$

বা, $\frac{c^2t^2}{4} - \frac{v^2t^2}{4} = h^2$

বা, $t^2\left(c^2 - v^2\right) = 4h^2$ ……………………………………………………… (৮.৩২)

(৮.৩২) নং সমীকরণে (৮.৩১) নং সমীকরণের মান বসিয়ে, $t^2\left(c^2 - v^2\right) = c^2{t_0}^2$

বা, $t^2 = \frac{c^2{t_0}^2}{c^2 - v^2}$

বা, $t^2 = \frac{c^2{t_0}^2}{c^2\left(1 - v^2/c^2\right)}$

বা, $t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ……………………………………………………… (৮.৩৩)

যেহেতু বস্তুর বেগ কখনই আলোর বেগ অপেক্ষা বেশী বা সমান হতে পারেনা সেহেতু, $\frac{v^2}{c^2} < 1$

অতএব, $\sqrt{1 - v^2/c^2} < 1$ তাই $t > t_0$ । অর্থাৎ স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামো থেকে পরিমাপকৃত সময়ের ব্যবধান গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর সময়ের ব্যবধান অপেক্ষা দীর্ঘ। যদি $v << c$ হয় তবে $\frac{v^2}{c^2} \approx 0$, সেক্ষেত্রে $t = t_0$ হবে। অর্থাৎ সাধারণ বেগে গতিশীল হলে উভয় ক্ষেত্রেই সময়ের ব্যবধান সমান। গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর বেগ যতই আলোর বেগের নিকটবর্তী হবে সময়ের ব্যবধান তত বেশী হবে।

উদাহরণ ৮.১: একটি রকেট কত বেগে চললে এর চলমান দৈর্ঘ্য নিশ্চল দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হবে?

সমাধান : দেয়া আছে, $L = \frac{L_0}{2}$ এবং $v = ?$

দৈর্ঘ্যের আপেক্ষিকতা থেকে আমরা জানি, $L = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

বা, $\left(\frac{L}{L_0}\right)^2 = 1 - \frac{v^2}{c^2}$ বা, $\frac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{L}{L_0}\right)^2$

বা, $v = c\left[1 - \left(\frac{L}{L_0}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$

মান বসালে, $v = 3\times10^8 \times \left[1 - \left(\frac{L_0}{2L_0}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} = 3\times10^8 \times \left(1 - \frac{1}{4}\right)^{\frac{1}{2}} = 3\times10^8 \times \left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{1}{2}} == 3\times10^8 \times 0.866$

বা, $v = 2.598\times10^8\,\mathrm{m}$

উ: $v = 2.598\times10^8\,\mathrm{m}$

উদাহরণ ৮.২: একটি মেসন কণার গড় আয়ু $3\times10^{-8}\text{s}$ । যদি কণাটি $0.85c$ বেগে গতিশীল হয় তবে এর গড় আয়ু বের করুন।

সমাধান : দেয়া আছে, $t_0 = 3\times10^{-8}\text{s}$, $v = 0.85c$ এবং $t = ?$

সময়ের আপেক্ষিকতা থেকে আমরা পাই, $t = \dfrac{t_0}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$

মান বসালে, $t = \dfrac{3\times10^{-8}}{\sqrt{1-\dfrac{(0.85c)^2}{c^2}}} = \dfrac{3\times10^{-8}}{\sqrt{1-0.7225}} = 5.69\times10^{-8}\text{s}$

উ: $5.69\times10^{-8}\text{s}$

উদাহরণ ৮.৩: 25 বছর বয়সের একজন মহাশূন্যচারী মহাকাশযানে $1.8\times10^{8}\,\text{ms}^{-1}$ বেগে চলে 30 বছর পর ফিরে এলেন। তাঁর বর্তমান বয়স কত?

সমাধান : দেয়া আছে, $v = 1.8\times10^{8}\,\text{ms}^{-1}$, $t = 30y$, $t_0 = ?$ এবং ভ্রমনের শেষে বয়স, $25 + t_0 = ?$

মহাশূন্যচারীর বয়স বৃদ্ধি t_0 হলে সময়ের আপেক্ষিকতা থেকে আমরা পাই,

$t = \dfrac{t_0}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$ বা, $t_0 = t\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}$

মান বসালে, $t_0 = 30\sqrt{1-\dfrac{(1.8\times10^8)^2}{(3\times10^8)^2}} = 30\times\sqrt{0.64} = 24y$

সুতরাং মহাশূন্যচারীর বর্তমান বয়স $25 + 24 = 49y$

উ: $49y$

সার-সংক্ষেপ :

আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে দৈর্ঘ্য ও সময়ের আপেক্ষিকতা

লরেঞ্জ রূপান্তর বিধি অনুসারে, স্থানাঙ্ক এবং সময়াঙ্ক জড় কাঠামোর আপেক্ষিক বেগের উপর নির্ভরশীল। সুতরাং দৈর্ঘ্য এবং সময় পরম হতে পারে না। দৈর্ঘ্য ও সময়ের আপেক্ষিকতার বিষয়গুলো আইনস্টইনের বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়।

দৈর্ঘ্য সংকোচন: কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিমাপ সকল কাঠামোতে সমান নয় অর্থাৎ দৈর্ঘ্যের পরিমাপ পরম নয়। এর দৈর্ঘ্য পর্যবেক্ষক ও বস্তুর মধ্যে আপেক্ষিক গতির উপর নির্ভরশীল। সুতরাং কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিমাপ আপেক্ষিক। $L = L_0\sqrt{1-v^2/c^2}$

কাল দীর্ঘায়ণ: সময়ের পরিমাপ সকল কাঠামোতে সমান নয় অর্থাৎ সময়ের পরিমাপ পরম নয়। দুটি জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর মধ্যে যদি আপেক্ষিক গতি থাকে তবে এই দুই কাঠামোতে অবস্থিত দুইজন পর্যবেক্ষকের নিকট সংঘটিত দুটি ঘটনার মধ্যবর্তী সময়ের ব্যবধান সমান হবে না। $t = \dfrac{t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৮.৬

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। নীচের কোনটি দৈর্ঘ্য সংকোচন ও কাল দীর্ঘায়ণে সমীকরণ?

ক. $L = L_0\sqrt{1-v^2/c^2}$ ও $t = \dfrac{t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ খ. $L = L_0\sqrt{1-v^2/c^2}$ ও $t_0 = t\sqrt{1-v^2/c^2}$

গ. $L = \dfrac{L_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ও $t = \dfrac{t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ঘ. $L = \dfrac{L_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ও $t_0 = t\sqrt{1-v^2/c^2}$

২। কত বেগে গতিশীল হলে কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্য তার মূল দৈর্ঘ্যের এক চতুর্থাংশ হবে?

ক. $\dfrac{\sqrt{15}}{4}c$ খ. $\dfrac{15}{4}c$ গ. $\dfrac{3}{2}c$ ঘ. $\dfrac{\sqrt{3}}{2}c$

পাঠ ৮.৭ : ভরের আপেক্ষিকতা : ভরবৃদ্ধি ও ভর শক্তি সম্পর্ক : $E = mc^2$

The Relativity of Mass: Increase of Mass and Mass-Energy Relation: $E = mc^2$

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে ভর বৃদ্ধি বর্ণনা করতে পারবেন।
- আইনস্টাইনের ভর শক্তি সম্পর্ক $E = mc^2$ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

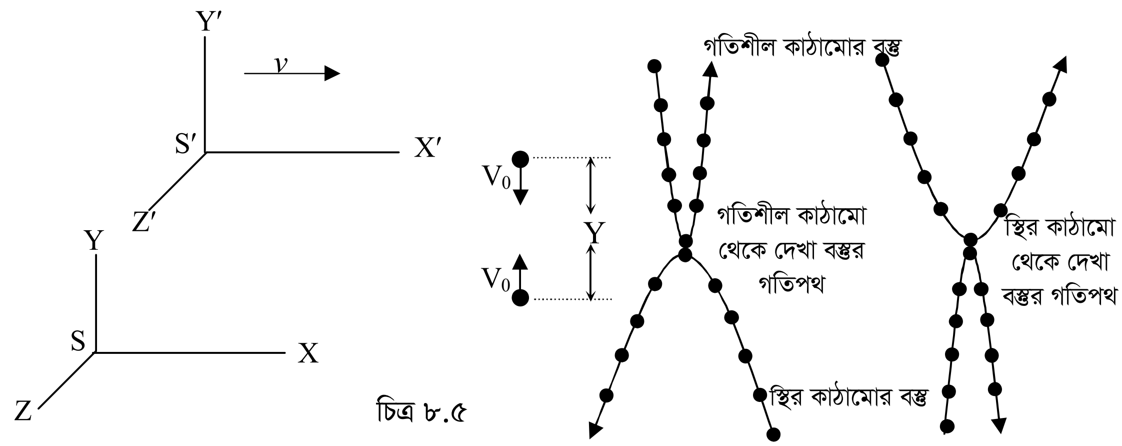
৮.৭.১ ভরের আপেক্ষিকতা (The Relativity of Mass):

ভরের পরিমাপ সকল কাঠামোতে সমান নয় অর্থাৎ ভর পরম নয়। দুটি জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর মধ্যে যদি আপেক্ষিক গতি থাকে তবে একই ভরের কোনো বস্তু দুই কাঠামোতে অবস্থিত দুইজন পর্যবেক্ষকের নিকট বস্তুটির পরিমাপকৃত বস্তুর ভর সমান হবে না। স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের নিকট বস্তুর ভর গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের পরিমাপকৃত বস্তুর ভর অপেক্ষা বেশী হয়।

বস্তুর বেগের কারণে ভরের এই পরিবর্তনকে ভরের আপেক্ষিকতা বলে।

মনে করি, একই ভরের দুটি বস্তুর একটি স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামো এবং অপরটি গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে আছে। কাঠামো দুটি উলম্বীয় ভাবে পরস্পর হতে Y দূর দিয়ে অতিক্রম করছে এবং গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর X-অক্ষ বরাবর বেগ v। মনে করি কাঠামো দুটি অভিকর্ষ ও অন্য সকল বল থেকে মুক্ত। স্থির কাঠামো S থেকে m_0 ভরের বস্তুকে Y -অক্ষ বরাবর উপর দিকে V_0 বেগে এবং গতিশীল কাঠামো S' থেকে m_0 ভরের একটি বস্তুকে Y' অক্ষ বরাবর নীচের দিকে একই সময় একই বেগে নিক্ষেপ করা হলো। যখন কাঠামো দুটি একই অবস্থানে (যে মুহূর্তে গতিশীল S' জড় প্রসঙ্গ কাঠামোটি S স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোটিকে অতিক্রম করছে ঠিক তখনি) তখন বস্তু দুটি পরস্পরের দিকে $Y/2$ দূরত্ব অতিক্রম করে পরস্পরে সাথে স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ ঘটিয়ে বিপরীত দিকে পূর্বের অবস্থায় ফিরে গেল। বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের প্রথম স্বীকার্য অনুসারে নিজ নিজ কাঠামোতে পর্যবেক্ষক বস্তুর বেগ, ভর ও সময় একই পরিমাপ করবে। যদি পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসতে t_0 সময় লাগে তবে, $V_0 t_0 = 2\times\dfrac{Y}{2}$

বা, $t_0 = \dfrac{Y}{V_0}$ ……………………………………………… (৮.৩৪)



চিত্র ৮.৫

কিন্তু স্থির কাঠামো S থেকে পর্যবেক্ষক যদি গতিশীল কাঠামো S' এ অবস্থিত বস্তুর গতি পথ পর্যবেক্ষণ করলে তিনি ভিন্ন চিত্র দেখবেন। কারণ ইতোমধ্যে গতিশীল S' কাঠামো v বেগে কিছু দূরত্ব অতিক্রম করেছে। সুতরাং S' কাঠামোর পর্যবেক্ষক বস্তুর ভর ও গতিবেগের মান যা পরিমাপ করেছেন S কাঠামোর পর্যবেক্ষক S' কাঠামোর বস্তুর ভর ও গতিবেগ তার থেকে ভিন্ন পাবেন। ধরি S কাঠামোর পর্যবেক্ষক কর্তৃক S' কাঠামোর পরিমাপকৃত বস্তুর ভর, গতিবেগ ও সময় যথাক্রমে m, V ও t

অতএব, যদি পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসতে t সময় লাগে তবে, $Vt = 2\times\frac{Y}{2}$

বা, $V = \frac{Y}{t}$ ... ... (৮.৩৫)

বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের প্রথম স্বীকার্য অনুসারে একই কাঠামোতে নিউটনের সূত্রগুলো সমভাবে প্রযোজ্য। সুতরাং ভরবেগের নিত্যতার সূত্রানুসারে,

$m_0V_0 + (-mV) = -m_0V_0 + mV$ (যেহেতু কাঠামো দুটিতে আদিবেগদ্বয় এবং শেষবেগদ্বয় পরস্পর বিপরীতমুখী)

বা, $2m_0V = 2mV_0$

বা, $m_0V = mV_0$ ... ... (৮.৩৬)

(৮.৩৪) ও (৮.৩৫) নং সমীকরণের মান (৮.৩৬) নং সমীকরণে বসালে, $m\frac{Y}{t} = m_0\frac{Y}{t_0}$

বা, $mt_0 = m_0t$ ... ... (৮.৩৭)

(৮.৩৩) নং সমীকরণের মান (৮.৩৭) নং সমীকরণে বসালে,

বা, $mt_0 = m_0\frac{t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

বা, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ... ... (৮.৩৮)

যেহেতু বস্তুর বেগ কখনই আলোর বেগ অপেক্ষা বেশী বা সমান হতে পারেনা সেহেতু $\frac{v^2}{c^2} < 1$

অতএব, $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} < 1$ তাই $m > m_0$ । অর্থাৎ স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামো থেকে পরিমাপকৃত গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর

কোনো বস্তুর ভর স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে অবস্থিত বস্তুর ভর অপেক্ষা বেশী হয়। যদি $v << c$ হয় তবে $\frac{v^2}{c^2} \approx 0$, সেক্ষেত্রে $m = m_0$ হবে। অর্থাৎ সাধারণ বেগে গতিশীল বস্তুর ভরের কোনো পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয় না। বস্তুর বেগ যতই আলোর বেগের নিকটবর্তী হবে ভর তত বেশী হবে। এখানে আরো লক্ষণীয় যে, যদি $v = c$ হয় তবে (৮.৩৬) নং সমীকরণে $v = c$ শর্তটি বসালে, $m = \frac{m_0}{0} = \infty$ অর্থাৎ বস্তুর ভর অসীম হয়ে যাবে।

সুতরাং, বাস্ড়বে কোনো বস্তুকণা বেগ কখনোই আলোর বেগের সমান বা তারচেয়ে বেশী হতে পারে না।

৮.৭.২: ভর–শক্তি সম্পর্ক (Mass-Energy Relation)

আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের সবচেয়ে গুর“ত্বপূর্ণ অবদান হলো ভর–শক্তি সম্পর্ক। চিরায়ত বলবিদ্যায় কোনো বস্তুর ভর ধ্র“ব রাশি এবং শক্তি সর্বদাই নিত্য। চিরায়ত বলবিদ্যায় আরো ধরা হয় যে, ভর এবং শক্তি দুটি ভিন্ন সত্তা। আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বে চিরায়ত বলবিদ্যায় পুরাতন ধারণার আমূল পরিবর্তন ঘটে। এই তত্ত্বানুসারে ভর এবং শক্তি দুটি অভিন্ন সত্তা। ভরকে সম্পূণরূপে ধ্বংস করা যায় এবং তা থেকে শক্তির উৎপন্ন হয়। অর্থাৎ ভর সম্পূর্ণরূপে শক্তিতে রূপান্ড়র হয় এবং একই ভাবে শক্তিও উপযুক্ত পরিবেশ পেলে ভরে রূপান্ড়র হয়।

নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে ভরবেগের পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের সমান, অর্থাৎ $F = \frac{d}{dt}(mv)$

একটি গতিশীল বস্তুকে স্থির অবস্থায় আনতে যে পরিমান কাজ করতে হয় তাকে গতিশক্তি বলে।

অতএব, $K = \int F ds = \int \frac{d}{dt}(mv) ds = \int \left(m\frac{dv}{dt} + v\frac{dm}{dt} \right) ds$

বা, $K = \int \left(m\frac{ds}{dt} dv + v\frac{ds}{dt} dm \right)$

$$K = \int \left(mv dv + v^2 dm \right) \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (৮.৩৯)$$

আমরা ভরের আপেক্ষিকতা থেকে পাই, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

বা, $m^2 = \frac{{m_0}^2}{1 - v^2/c^2}$

বা, $m^2 \left(1 - v^2/c^2\right) = {m_0}^2$

বা, $m^2 - \frac{1}{c^2} v^2 m^2 = {m_0}^2$

ব্যবকলন করে পাই, $2m dm - \frac{1}{c^2}\left(2vm^2 dv + 2mv^2 dm\right) = 0$

বা, $\left(2mc^2 - 2mv^2\right) dm = 2vm^2 dv$

বা, $\left(c^2 - v^2\right) dm = mv dv$

বা, $c^2 dm = mv dv + v^2 dm \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (৮.৪০)$

(৮.৪০) নং সমীকরণের মান (৮.৩৯) নং সমীকরণে বসালে,

$$K = \int_{m_0}^{m} c^2 dm = c^2 [m]_{m_0}^{m} = mc^2 - m_0 c^2$$

বা, $K = mc^2 - m_0 c^2$

বা, $mc^2 = K + m_0c^2$

m_0c^2 হলো স্থির ভরের শক্তি সুতরাং এটি স্থিতি শক্তি। একে V দিয়ে প্রকাশ করলে, $mc^2 = K + V$

সুতরাং, $E = mc^2$ ... ... (৮.৪১)

এটিই আইনস্টইনের বিখ্যাত ভর-শক্তি সমীকরণ। এই সমীকরণ প্রমাণ করে, ভর ও শক্তি ভিন্ন সত্তার নয়, বরং একই সত্তার দুটি ভিন্নরূপ মাত্র। নিউক্লিয় ফিশান ও ফিউশনের ফলে আমরা যে শক্তি পাই তা এই সমীকরণ দিয়ে সঠিক ভাবে পরিমাপ করা যায়। সূর্য ও অন্যান্য নক্ষত্র থেকে আমরা যে শক্তি পেয়ে থাকি তাও এই সমীকরণ দিয়ে ব্যাখ্যা করা যায়। অর্থাৎ এই সমীকরণ মহাজগতিক সকল শক্তির ব্যাখ্যা দিতে সক্ষম।

৮.৭.৩: শূন্য নিশ্চল ভরবিশিষ্ট কণার ভরবেগ (Momemtum of Particle with Zero Restmass):

আমরা আইনস্টাইনের ভর-শক্তির সমীকরণ থেকে পাই, মোট শক্তি $E = mc^2 = \dfrac{m_0c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

বা, $E^2 = \dfrac{m_0{}^2c^4}{1-v^2/c^2}$ ... ... (৮.৪২)

এবং ভরবেগ $p = mv = \dfrac{m_0v}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

বা, $p^2 = \dfrac{m_0{}^2v^2}{1-v^2/c^2}$

বা, $p^2c^2 = \dfrac{m_0{}^2v^2c^2}{1-v^2/c^2}$ ... ... (৮.৪৩)

(৮.৪২) নং সমীকরণের সাথে (৮.৪৩) নং সমীকরণ বিয়োগ করে পাই,

$$E^2 - p^2c^2 = \frac{m_0{}^2c^4}{1-v^2/c^2} - \frac{m_0{}^2v^2c^2}{1-v^2/c^2}$$

বা, $E^2 - p^2c^2 = \dfrac{m_0{}^2c^2}{1-v^2/c^2}\left(c^2 - v^2\right)$

বা, $E^2 - p^2c^2 = \dfrac{m_0{}^2c^2}{\frac{1}{c^2}\left(c^2 - v^2\right)}\left(c^2 - v^2\right) = m_0{}^2c^4$

বা, $E^2 = p^2c^2 + m_0{}^2c^4$

বা, $E = \sqrt{p^2c^2 + m_0{}^2c^4}$ ... ... (৮.৪৪)

যদি, নিশ্চল ভর $m_0 = 0$ হয় তবে, $E = \sqrt{p^2c^2} = pc$

বা, $p = \dfrac{E}{c}$ ... ... (৮.৪৫)

একটি শূন্য নিশ্চল ভরবিশিষ্ট কণার ভরবেগ।

উদাহরণ ৮.8: একটি বস্তুকণা $\dfrac{c}{4}$ বেগে গতিশীল আছে। বস্তুটির স্থির অবস্থায় ভর এবং গতিশীল অবস্থায় ভরের অনুপাত বের কর্ন।

সমাধান : দেয়া আছে, $v=\dfrac{c}{4}$

ভরের আপেক্ষিকতা থেকে আমরা পাই, $m=\dfrac{m_0}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$

বা, $\dfrac{m_0}{m}=\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}$

মান বসালে, $\dfrac{m_0}{m}=\sqrt{1-\dfrac{(c/4)^2}{c^2}}=\sqrt{1-\dfrac{1}{16}}=\sqrt{0.9375}=0.968$

সুতরাং, $m_0:m=0.968:1$

উ: $m_0:m=0.968:1$

উদাহরণ ৮.৫: একটি ইলেকট্রনকে ভর-শক্তি রূপান্তর প্রক্রিয়ায় সম্পূর্ণরূপে শক্তিতে রূপান্তরিত করলে কি পরিমাণ শক্তি পাওয়া যায় MeV এককে বের করুন।

সমাধান : দেয়া আছে, $m_e=9.1\times10^{-31}\text{kg}$ এবং $E=?$

ভর-শক্তির সমীকরণ থেকে আমরা জানি, $E=mc^2$

মান বসালে, $E=9.1\times10^{-31}\times\left(3\times10^{8}\right)^2=8.19\times10^{-14}\,\text{J}$

বা, $E=\dfrac{8.19\times10^{-14}}{1.6\times10^{-19}}\text{eV}=5.11875\times10^{5}\,\text{eV}\approx0.5\text{MeV}$

উ: 0.5MeV

উদাহরণ ৮.৬: কোনো একটি বস্তুর মোট শক্তি এর স্থিতাবস্থার শক্তির দ্বিগুণ। বস্তুটির বেগ নির্ণয় করুন।

সমাধান : দেয়া আছে, $E=2E_p$ বা, $mc^2=2m_0c^2$, $v=?$

আমরা ভর-শক্তির সমীকরণ থেকে পাই, $E=mc^2=\dfrac{m_0c^2}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$

মান বসালে, $2m_0c^2=\dfrac{m_0c^2}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$

বা, $\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}=\dfrac{1}{2}$

বা, $1-\dfrac{v^2}{c^2}=\dfrac{1}{4}$

বা, $\dfrac{v^2}{c^2}=1-\dfrac{1}{4}=0.75$

বা, $v=\sqrt{0.75}\times c=0.866\times3\times10^{8}$

বা, $v=2.589\times10^{8}\,\text{ms}^{-1}$

উ: $2.589\times10^{8}\,\text{ms}^{-1}$

সার-সংক্ষেপ :

ভরের আপেক্ষিকতা: ভরের পরিমাপ সকল কাঠামোতে সমান নয় অর্থাৎ ভর পরম নয়। দুটি জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর মধ্যে যদি আপেক্ষিক গতি থাকে তবে একই ভরের কোনো বস্তু দুই কাঠামোতে অবস্থিত দুইজন পর্যবেক্ষকের নিকট বস্তুটির পরিমাপকৃত বস্তুর ভর সমান হবে না। স্থির জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের নিকট বস্তুর ভর গতিশীল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের পরিমাপকৃত বস্তুর ভর অপেক্ষা বেশী হয়।

বস্তুর বেগের কারণে ভরের এই পরিবর্তনকে ভরের আপেক্ষিকতা বলে। $m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

ভর–শক্তি সম্পর্ক: $E = mc^2$, **শক্তি ও ভরবেগের সম্পর্ক:** $E = \sqrt{P^2c^2 + {m_0}^2c^4}$

স্থির ভরহীন কণার ভরবেগ $P = \dfrac{E}{c}$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৮.৭

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। নীচের কোনটি ভর-শক্তির সমীকরণ?

ক. $E = pc$ খ. $E = \dfrac{1}{2}mv^2$ গ. $E = \sqrt{P^2c^2 + {m_0}^2c^4}$ ঘ. $E = mc^2$

২। একটি m ভরের কণার বেগ আলোর বেগের সমান হলে তার ভর কত হবে?

ক. 0 খ. m গ. mc ঘ. ∞

পাঠ ৮.৮: কালো বস্তুর বিকিরণ : পণ্ড্যাঙ্ক এর কোয়ান্টাম তত্ত্ব

Black Body Radiation: Quantum Theory of Max Plank

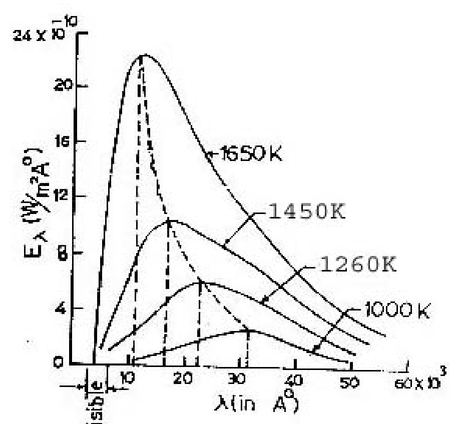
উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- পণ্ড্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- পণ্ড্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্বের আলোকে কালো বস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৮.৮.১: কৃষ্ণ বস্তু বিকিরণ (Black Body Radiation):

যে বস্তু এর উপর আপতিত সকল তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ শোষন করে অর্থাৎ কোন প্রতিসরণ বা প্রতিফলন হয় না তাকে কৃষ্ণ বস্তু বলে। কৃষ্ণ বস্তু থেকে সকল কম্পাংকের বিকিরণ সুষম ভাবে নিঃসরণ করে। কৃষ্ণ বস্তু যে বিকিরণ নিসঃরণ করে তাকে কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ বলে। কৃষ্ণ বস্তু একটি আদর্শ বিকিরক। প্রকৃত পক্ষে কৃষ্ণ বস্তু একটি আদর্শগত ধারণা। এমন কোনো পৃষ্ঠ নাই যা আদর্শ কৃষ্ণ বস্তুর ন্যায় আচরণ করে। প্রদীপের কালি আপতিত বিকিরণের ৯৬% শোষণ করে। পণ্ঢাটিনামের কালি আপতিত বিকিরণের ৯৮% শোষন করে।



চিত্র ৮.৬

১৮৫৮ সালে কার্শপ (Kirchoff) কৃষ্ণ বস্তু সম্পর্কে দুটি সূত্র আবিস্কার করেন। সূত্র দুটি হলোঃ-

১) একটি কৃষ্ণ বস্তুকে তাপ দিলে শুধু যে তার উপর আপতিত সকল বিকিরণ সম্পূর্ণভাবে শোষণ করে তা নয়, কৃষ্ণবস্তুটি একটি আদর্শ বিকিরক হিসাবে কাজ করে।

২) কোনো কৃষ্ণবস্তু থেকে নিঃসরিত বিকিরণ কৃষ্ণবস্তুকে যে তাপ মাত্রায় উন্নীত করা হয় তার উপর নির্ভরশীল, বস্তুর প্রকৃতি ও উপাদানের উপর নির্ভশীল নয়।

স্থির তাপমাত্রায় বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বিকিরণের নিসঃরণ শক্তির বন্টন হিসাব নিকাশ করার সময় কৃষ্ণ বস্তুকে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হয় এবং অবলোহিত স্পেক্ট্রোমিটারের সাহায্যে বিকিরিত বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের প্রাবল্য মাপা হয়।

কোনো বস্তুর তাপমাত্রা বাড়াতে থাকলে এর রং পরিবর্তিত হয়। এর অর্থ হলো বস্তুর তাপমাত্রা বাড়াতে থাকলে বস্তু থেকে নির্গত বিকিরণের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য পরিবর্তিত হতে থাকে। উচ্চ তাপমাত্রায় কম তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট বিকিরণ বেশী ঘটে।

১৮৯৯ সালে লুমার এবং প্রিংসিম (Lumar and Pringsheim) যে পরীক্ষালব্ধ ফলাফল পান তার ৮.৬ নং চিত্র নিম্নে দেখানো হলো। এই লেখচিত্রে কালো বস্তুর $100K$ থেকে $1650K$ তাপমাত্রা পর্যন্ড় দেখানো হয়েছে। Y-অক্ষে বিকিরণ ক্ষমতা E_λ এবং X- অক্ষে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ নির্দেশ করছে।

λ এবং $\lambda+d\lambda$ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের মধ্যে প্রতি একক ক্ষেত্রফল থেকে প্রতি সেকেন্ডে বিকিরণ শক্তির পরিমানকে $E_\lambda d\lambda$ দিয়ে নির্দেশ করা হয়।

$$\text{সুতরাং বিকিরণ ক্ষমতা} = \frac{\lambda \text{ এবং } \lambda+d\lambda \text{ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের মধ্যে প্রতি একক ক্ষেত্রফল থেকে প্রতি সেকেন্ডে বিকিরণ শক্তির পরিমান}}{\text{তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের পার্থক্য } d\lambda}$$

লেখচিত্র থেকে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্ড়ে উপনিত হওয়া যায়।

১) তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে প্রতি তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের E_λ বৃদ্ধি পায়।

২) স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_m (স্থির তাপমাত্রায় বিকিরণের যে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সর্বোচ্চ শক্তি বিকিরণ করে তাকে λ_m বলে) অতিক্রম না হওয়া পর্যন্ড় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির সাথে সাথে E_λ বৃদ্ধি পায় এবং λ_m অতিক্রম করার পর λ বৃদ্ধির সাথে সাথে E_λ হ্রাস পেতে থাকে অর্থাৎ সর্বোচ্চ E_λ মানের জন্য যে λ_m পাওয়া যায় তা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে ছোট তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের দিকে স্থানান্ড়রিত হয়।

লুমার এবং প্রিংসিম এর পরীক্ষা লব্ধ ফলাফল থেকে ভীন *(Wien)* কৃষ্ণ বস্তুর এ সংক্রান্ড় সূত্র প্রদান করেন যা ভীনের সরণ সূত্র নামে পরিচিত।

সূত্র ঃ- কোন কৃষ্ণ বস্তু থেকে যে তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সর্বোচ্চ পরিমাণ শক্তি বিকিরণ করে তা তার পরম তাপমাত্রার ব্যস্ড় ানুপাতিক।

অর্থাৎ $\lambda_m \propto \frac{1}{T}$

বা, $\lambda_m T = k$ ……………………………………………………… (৮.৪৬)

এখানে k একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। এর পরীক্ষলব্ধ মান 2.9×10^{-3}mK

১৮৯৬ সালে ভীন কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ নিঃসরণের জন্য নিম্নোক্ত ঐচ্ছিক ধারণা (arbitary assumption) উপস্থাপন করেন,

১) কৃষ্ণ বস্তু রূপে বিবেচিত ফাঁপা গোলকটির অভ্যন্ড়রস্থ বিকিরণ, আণবিক পালণ্ডার (Molecular dimension) ছন্দিত স্পন্দনের জন্য সৃষ্টি হয়।

২) বিকিরণ নিঃসরণের কম্পাংক হলো ছন্দিত স্পন্দনের গতিশক্তির সমানুপাতিক।

৩) নির্দিষ্ট কোনো তরঙ্গের বিকিরণের প্রাবল্য সেই তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের উপযোগী ছন্দিত স্পন্দনের সংখ্যার সমানুপাতিক।

এই ধারণার ভিত্তিতে নিম্নোক্ত সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন,

$$E_\lambda d\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}} d\lambda \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (৮.৪৭)$$

এখানে c_1 এবং c_2 ঐচ্ছিক ধ্রুবক, $T=$ পরম তাপমাত্রা।

এই সূত্রানুসারে ছোট তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে লুমার ও প্রিংসিম পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ হয় কিন্তু খুব বড় তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে তা সঙ্গতিপূর্ণ হয় না।

৮.৮.২: র‌্যালে-জীন্‌স (Rayleigh-Jean's)-এর সূত্র ঃ-

ফাঁপা গোলকে আদর্শ প্রতিফলক তল হিসাবে বিবেচনা করে র‌্যালে-জীন্‌স (Rayleigh-Jean's) একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা

করেন। এই সূত্রানুসারে শক্তি ঘনত্ব $U_\lambda d\lambda$ অর্থাৎ λ এবং $\lambda + d\lambda$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সীমানার মধ্যে একক আয়তনের বদ্ধ ক্ষেত্রে শক্তি

$$U_\lambda d\lambda = -\frac{8\pi kT}{\lambda^4} d\lambda \quad \ldots \quad (৮.৪৮)$$

এখানে, $k =$ বোল্টজম্যান ধ্রুবক এবং $T =$ পরম তাপমাত্রা।
সূত্রটি লুমার এবং প্রিংসিম লেখচিত্রের দীর্ঘ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ হয় কিন্তু হ্রস্ব তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সাথে মিলে না।

৮.৮.৩: স্টিফেন বোল্টজম্যান (Stefan Boltzmann) সূত্র ঃ-

কোনো কৃষ্ণ বস্তুর একক ক্ষেত্রফল থেকে প্রতি একক সেকেন্ডে যে শক্তি নিসঃরণ করে তা তার পরম তাপমাত্রার চতুর্থঘাতের সমানুপাতিক।
কোন কৃষ্ণ বস্তুর একক ক্ষেত্রফল থেকে প্রতি একক সেকেন্ডে যদি E শক্তি নিসঃরণ করে এবং বস্তুটির পরম তাপমাত্রার T হয় তবে, $E \propto T^4$

বা, $$E = \sigma T^4 \quad \ldots \quad (৮.৪৯)$$

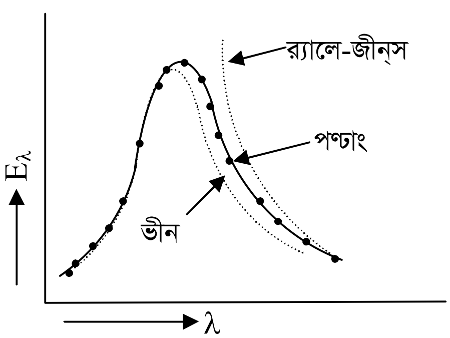
এখানে σ একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে স্টিফেনের ধ্রুবক বলে। এর মান $5.7 \times 10^{-8}\,\mathrm{Wm^{-2}K^{-4}}$। স্টিফেনের সূত্রটি বোল্টজম্যান তাপ গতিবিদ্যার সাহায্যে প্রমাণ করেন সে জন্য একে স্টিফেন বোল্টজম্যান সূত্রও বলা হয়।

৮.৮.৪: কৃষ্ণ বস্তুর আচরণ ব্যাখ্যায় চিরায়ত বলবিদ্যার ব্যার্থতা

চিরায়ত বলবিদ্যা দ্বারা কৃষ্ণ বস্তুর আচরণ বিভিন্ন ভাবে ব্যাখ্যা করার চেষ্টা করা হয়েছে কিন্তু প্রাপ্ত ফলাফলের সাথে কোনটিই যথাযথ হয়নি।

ভীনের সূত্র থেকে পাই, $E_\lambda d\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}} d\lambda$

এখানে $\lambda = \infty$ হলে $E_\lambda = 0$ এবং $\lambda = 0$ হলে $E_\lambda = 0$ হয়। সুতরাং তরঙ্গ দৈর্ঘ্য শূন্য বা অসীম হলে কোন শক্তির নিঃসরণ হয়না। আবার $T = \infty$ হলে $E_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5}$ হবে যা একটি সসীম মান। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ স্টিফেন বোল্টজম্যান সূত্র $E = \sigma T^4$ এর একেবারে বিরোধী (কারণ $\lambda \propto \frac{1}{T}$ তাই $E_\lambda = cT^5$ যা স্টিফেন বোল্টজম্যান সূত্রের সাথে মিলে না)। তাই এই সিদ্ধান্ড় ভুল।



চিত্র ৮.৭

র‌্যালে-জীন্‌সের সূত্র থেকে পাই, $U_\lambda d\lambda = -\frac{8\pi kT}{\lambda^4} d\lambda$। এখানে $\lambda = \infty$ হলে $U_\lambda = 0$ এবং $\lambda = 0$ হলে $U_\lambda = \infty$ হয়। অর্থাৎ শূন্য তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে এর শক্তি ঘনত্ব অসীম যা অবাস্ড়ব। একে অতিবেগুনী বিপর্যয় বলে।
আবার একক ক্ষেত্রফলে মোট শক্তি

$$U = \int_0^\infty U_\lambda d\lambda = \int_0^\infty \frac{8\pi kT}{\lambda^4} d\lambda = 8\pi kT\left[-\frac{1}{3\lambda^3}\right]_0^\infty = \infty$$

এটাও একটি অবাস্ড়ব মান। কারণ পরীক্ষালব্ধ স্টিফেন বোল্টজম্যান সূত্রানুসারে একটি সসীম মান হবে।
সুতরাং বলা যায় হ্রস্ব তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে ভীন-এর সূত্র এবং দীর্ঘ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে র‌্যালে-জেন্সের সূত্র মোটামুটি প্রযোজ্য হলেও পরীক্ষালব্ধ ফলাফলকে পূর্ণাঙ্গরূপে ব্যাখ্যা করতে চিরায়ত বলবিদ্যা সম্পূর্ণরূপে ব্যর্থ।

৮.৮.৫: ম্যাক্স পণ্ড্যাংকের কোয়ান্টাম তত্ত্ব (Quantum Theory of Max Plank):

১৯০১ সালে ম্যাক্স পণ্ড্যাংক পূর্ববর্তী বিকিরণের শক্তির অবিচ্ছিন্নতার ধারণা পরিত্যাগ করে এক বৈপণ্ঢবিক অনুকল্প উপস্থাপণ করেন। তার অনুকল্প অনুসারে কৃষ্ণবস্তু স্থির তাপমাত্রায় তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ দ্বারা পূর্ণ থাকে। এই তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গগুলো কতকগুলো সরল ছন্দিত স্পন্দক দিয়ে সৃষ্ট। নির্দিষ্ট কম্পাংক বিশিষ্ট সরল ছন্দিত স্পন্দকগুলির নির্দিষ্ট পরিমান শক্তি বিদ্যমান। এই শক্তি তার কম্পাংকের সমানুপাতিক। যখন সরল ছন্দিত স্পন্দকগুলো তার নিজস্ব কম্পাংকে কাঁপতে থাকে তখন কোনো শক্তি বিকিরণ বা শোষণ করে না। সুতরাং শক্তি অবিচ্ছিন্ন আকারে নির্গত হয়না। বরং অবিচ্ছিন্নভাবে অনবরত বান্ডিল বা প্যাকেট আকারে নির্গত হয়। বিকিরণ শক্তিকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র শক্তির প্যাকেটের গুচ্ছ প্রবাহ আকারে বিবেচনা করা হয়। প্রতি প্যাকেট এক একটি কোয়ান্টার বান্ডিল। এইজন্য একে পণ্ঢ্যাংকের কোয়ান্টাম তত্ত্ব বলে।

প্রতিটি কোয়ান্টার বান্ডিলের শক্তি $E = nhf$ । এখানে, $n =$ তরঙ্গ সংখ্যা, $f =$ নির্গত তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের কম্পাংক।

যেখানে কম্পাংক $f = \frac{c}{\lambda}$, λ হলো বিকিরণের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য এবং $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে পণ্ঢ্যাংকের ধ্রুবক বলে। সুতরাং ম্যাক্স পণ্ঢ্যাংকের মতে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ কোনো অবিছিন্ন তরঙ্গ নয় বরং বিছিন্ন তরঙ্গ এবং প্রতিটি কোয়ান্টা এক একটি অবিভাজ্য একক। প্রতিটি কোয়ান্টা আকার তার বা শক্তি তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের কম্পাংকের উপর নির্ভরশীল। পরে **১৯২৬** সালে লুইস প্রতিটি কোয়াণ্টার নাম দেন ফোটন। সুতরাং প্রতিটি ফোটনের শক্তি হলো hf । কোয়ান্টাম তত্ত্বের মূল কথা হলো, **তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ তরঙ্গধর্মী নয়, বরং এক ধরণের কণার স্রোত, এই কণার নাম ফোটন (Photon)।**

এই তত্ত্বানুসারে ম্যাক্স পণ্ড্যাংক দেখান যে, f থেকে $f + df$ কম্পাংকের মধ্যে প্রতি একক আয়তনে নিঃসরিত শক্তির পরিমান, $\varepsilon = \dfrac{hf}{e^{-\frac{hf}{\lambda T}} - 1}$ ... ... (৮.৫০)

এটাই পণ্ঢ্যাংকের গড় শক্তির রাশিমালা বলে।

এখানে, $k =$ বোল্টজম্যান ধ্রুবক এবং $T =$ পরম তাপমাত্রা।

পণ্ঢ্যাংকের প্রকল্প (Plank's hypothesis) অনুসারে কৃষ্ণ বস্তুর শক্তি বিন্যাসের ব্যাখ্যা পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের সাথে সম্পূর্ণরূপে মিলে যায়।

কৃষ্ণ বস্তুর বর্ণালীর শক্তির বন্টন (distribution of energy in the spectrum of black body) যথার্থ ভাবে ব্যাখ্যার মধ্য দিয়েই কোয়ান্টাম বলবিদ্যার যাত্রা শুরু।

কোয়ান্টাম বলবিদ্যার ধারণা পেতে হলে আমাদের ফোটনের ধর্মাবলী জানা প্রয়োজন।

নীচে ফোটনের ধর্মগুলো দেয়া হলো।

১। প্রতিটি ফোটন কণাই তড়িৎ নিরপেক্ষ

২। শূন্য মাধ্যমে প্রতিটি ফোটন কণাই আলোর বেগে $\left(c = 3 \times 10^{8} \text{ms}^{-1}\right)$ চলাচল করে। কোনো ঘটনাতেই ফোটনের বেগের কোনো হ্রাস বৃদ্ধি ঘটে না।

৩। প্রতি ফোটন দ্বারা বাহিত শক্তির পরিমান $E = hf$ । এখানে $f =$ বিবিরণের কম্পাঙ্ক, $h =$ পণ্ড্যাংক ধ্রুবক। ফোটনের স্রোতে ফোটন কণার সংখ্যা যত বেশী হয়, বাহিত শক্তির পরিমাণও তত বেশী হয়। ফলে বিকিরণের উজ্জ্বলতা বৃদ্ধি পায়।

৪। নিউটনীয় বলবিদ্যায় ফোটনের ভর ব্যাখ্যা করা যায় না। ফোটনের যে ভর আছে এই ধারণা বর্জনীয়। সহজে বলা যায়, ফোটনের স্থির ভর শূন্য।

৫। আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে কোনো কণার স্থির ভর m_0 এবং ভরবেগ p হলে,

কণাটির শক্তি, $E = \sqrt{p^2c^2 + m_0^2c^4}$

ফোটনের ক্ষেত্রে, $m_0 = 0$

সুতরাং, $E = pc$

বা. $p = \frac{E}{c}$

বা, $p = \frac{hf}{c}$ ... ... (৮.৫১)

অর্থাৎ, **ফোটন ভরহীন কণা হলেও এর সুনির্দিষ্ট ভরবেগ আছে।**

উদাহরণ ৮.৭: একটি মাইক্রোওভেন থেকে 0.01m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ নির্গত করছে। মাইক্রোওভেন থেকে নির্গত ফোটনের শক্তি নির্ণয় করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $\lambda = 0.01\text{m}$, $E = ?$

আমরা জানি, $E = hf$ বা, $E = h\dfrac{c}{\lambda}$

মান বসালে, $E = 6.63\times10^{-34}\dfrac{3\times10^{8}}{0.01} = 1.99\times10^{-23}\,\text{J}$

উ: $1.99\times10^{-23}\,\text{J}$

উদাহরণ ৮.৮: একটি 100 MeV ফোটনের কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $E = 100\,\text{MeV} = 100\times10^{6}\times1.6\times10^{-19}\,\text{J} = 1.6\times10^{-11}\,\text{J}$,

$c = 3\times10^{8}\,\text{ms}^{-1}$, $h = 6.63\times10^{-34}\,\text{Js}$, $f = ?$ এবং $\lambda = ?$

আমরা জানি, $E = hf$ বা, $f = \dfrac{E}{h}$

মান বসালে, $f = \dfrac{E}{h} = \dfrac{1.6\times10^{-11}}{6.63\times10^{-34}} = 2.41\times10^{22}\,\text{Hz}$ উত্তর।

আবার, $E = hf = h\dfrac{c}{\lambda}$ বা, $\lambda = h\dfrac{c}{E}$

মান বসালে, $\lambda = 6.63\times10^{-34}\times\dfrac{3\times10^{8}}{1.6\times10^{-11}} = 1.24\times10^{-14}\,\text{m}$ উত্তর।

অথবা, $c = v\lambda$ বা, $\lambda = \dfrac{c}{f} = \dfrac{3\times10^{8}}{2.41\times10^{22}} = 1.24\times10^{-14}\,\text{m}$

উ: $1.24\times10^{-14}\,\text{m}$

সার-সংক্ষেপ :

কৃষ্ণ বস্তু: যে বস্তু এর উপর আপতিত সকল তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বিদ্যুৎ-চৌম্বকীয় বিকিরণ শোষন করে অর্থাৎ কোন প্রতিসরণ বা প্রতিফলন হয় না তাকে কৃষ্ণ বস্তু বলে। কৃষ্ণ বস্তু থেকে সকল কম্পাংকের বিকিরণ সুষম ভাবে নিঃসরণ করে। কৃষ্ণ বস্তু যে বিকিরণ নিসঃরণ করে তাকে কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ বলে। কৃষ্ণ বস্তু একটি আদর্শ বিকিরক।

ম্যাক্স পণ্ডপ্ল্যাংকের কোয়ান্টাম তত্ত্ব:

তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ কোনো অবিচ্ছিন্ন তরঙ্গ নয় বরং বিচ্ছিন্ন তরঙ্গ এবং প্রতিটি কোয়ান্টা এক একটি অবিভাজ্য একক। প্রতিটি কোয়ান্টা আকার তার বা শক্তি তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের কম্পাংকের উপর নির্ভশীল। পরে **১৯২৬** সালে লুইস প্রতিটি কোয়ান্টার নাম দেন ফোটন। সুতরাং প্রতিটি ফোটনের শক্তি হলো hf । কোয়ান্টাম তত্ত্বের মূল কথা হলো, তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ তরঙ্গধর্মী নয়, বরং এক ধরণের কণার স্রোত, এই কণার নাম ফোটন (Photon)।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৮.৮

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১. কৃষ্ণ বস্তুর -

i. উপর আপতিত সকল তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তাড়িত চৌম্বক বিকিরণ শোষন করে।
ii. থেকে সকল কম্পাংকের বিকিরণ সুষম ভাবে নিঃসৃত হয়।
iii. উদাহরণ হিসাবে সূর্য্য একটি আদর্শ কৃষ্ণ বস্তু।
নিচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. i ও iii গ. ii ও iii ঘ. i, ii ও iii

২. নীচের কোনটি উইনের সমীকরণ?

ক. $\lambda_m T = k$ খ. $E = \sigma T^4$ গ. $E = hf$ ঘ. $p = \frac{hf}{c}$

পাঠ ৮.৯ : আলোক তড়িৎ ক্রিয়া
Photo Electric Effect

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বর্ণনা করতে পারবেন।
- আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যায় চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্বের সীমাবদ্ধতা বর্ণনা করতে পারবেন।
- কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার আইনস্টাইনের ব্যাখ্যা বর্ণনা করতে পারবেন।

৮.৯.১: আলো তড়িৎ ক্রিয়া (Photo Electric Effect)

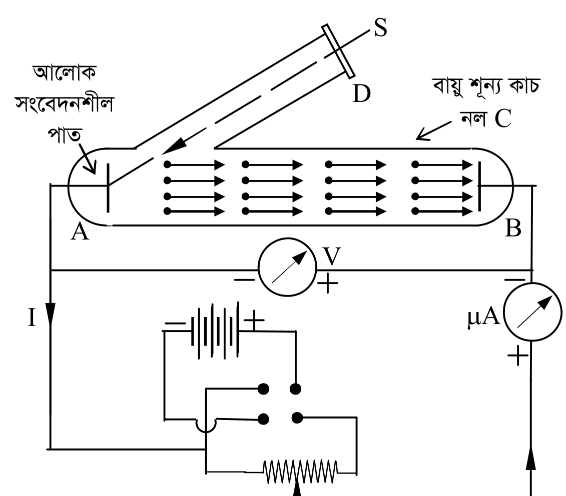
কোনো ধাতব পৃষ্ঠে উপযুক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেললে তার থেকে ইলেকট্রন নির্গত হয়। এই ঘটনাকে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বলে।

আলোতড়িৎ ক্রিয়ায় নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলোকে ফটোইলেকট্রন (Photoelectron) বলে।

উপযুক্ত ব্যবস্থার সাহায্যে ফটোইলেকট্রনগুলোর একমুখী স্রোত তৈরি করা যায়। এর ফলে যে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয় তাকে আলোতড়িৎ প্রবাহ (Photoelectric current) বলে।

৮.৯.২: আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার পরীক্ষা (Experiment of Photo Electric Effect)

(৮.৮) নং চিত্রে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া পরীক্ষার যন্ত্রের দেখানো হয়েছে। আলো সংবেদনশীল ধাতব পাত A এবং এর বিপরীত পার্শ্বে অপর একটি ধাতব পাত B কে একটি বায়ু শূন্য কাচ নল C এর মধে রাখা হয়। পাতদুটি তড়িৎদ্বার হিসাবে কাজ করে এবং বিভব পার্থক্য সৃষ্টির জন্য ব্যাটারীর সাথে যুক্ত করা হয়। এই কাচ নলের সাথে হেলানো ভাবে যুক্ত কাচ নলের অপর মাথায় কোয়ার্জ (quartz) এর তৈরী জানালা D থাকে। আলোক উৎস S থেকে অতি বেগুনী রশ্মি জানালা D দিয়ে আলো সংবেদনশীল ধাতব পাত Aতে এসে পড়লে ফটোইলেকট্রন নির্গত হয়।



চিত্র ৮.৮

যখন A পাতের বিভব পার্থক্য (P.D) B পাতের তুলনায় ঋণাত্মক থাকে তখন A পাত থেকে নির্গত ফটো ইলেকট্রন ত্বরিত (accelerating) হয়ে B পাতের দিকে ধাবিত হয় ফলে আলো তড়িৎ প্রবাহ (Photo-electric current) I বর্তনীতে

প্রবাহিত হয় এবং তা মাইক্রো অ্যামেটার μA দিয়ে মাপা হয়। দুই তড়িৎ-দ্বারের ত্বরান্বিত বিভব পার্থক্য ভোল্ট মিটার V দিয়ে মাপা হয়।

যদি বিভব পার্থক্যকে বিপরীতমুখী করা হয় অর্থাৎ B পাতকে A পাতের তুলনায় ঋণাত্মক করা হয় তবে তড়িৎদ্বারে মন্দীভূত (retarding) বিভব পার্থক্যের কারণে ফটোইলেকট্রন B পাত দ্বারা বিকর্ষিত হয়ে A পাতের দিকে ফিরতে থাকবে ফলে আলো তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পাবে। মন্দীভূত বিভব বাড়াতে থাকলে এক সময় আলোক তড়িৎ প্রবাহের মান শূন্য হয়ে যাবে। এ বিভবকে নিবৃত্তি বিভব (stopping potential) v_o বলে।

আলোক তড়িৎ প্রবাহ নিম্নলিখিত বিষয়ের উপর নির্ভর করে।

(ক) আপতিত বিকিরণের প্রাবল্য
(খ) আপতিত বিকিরণের কম্পাংক
(গ) দুই তড়িৎ দ্বারের বিভব পার্থক্য
(ঘ) ফটোইলেকট্রন নির্গতকারী পাতের প্রকৃতি।

আলো তড়িৎ ক্রিয়া পরীক্ষার সিদ্ধান্তঃ

১। ধাতব পৃষ্ঠ থেকে প্রতি সেকেন্ডে নির্গত ফটোইলেকট্রনের সংখ্যা আপতিত বিকিরণের প্রাবল্যের সমানুপতিক।
২। স্থির কম্পাংকে কোন নির্দিষ্ট ধাতবের জন্য স্টপিং বিভব আপতিত বিকিরণের প্রাবল্যের উপর নির্ভরশীল নয়।
৩। কোন নির্দিষ্ট ধাতবের জন্য কম্পাংক বৃদ্ধির সাথে সাথে স্টপিং বিভব বা নিবৃত্তি বিভব বৃদ্ধি পায়।

ধাতব পৃষ্ট থেকে নির্গত ফটো ইলেকট্রনের বেগ শূন্য থেকে সর্বোচ্চ একটা মানের মধ্যে সীমাবদ্ধ। স্টপিং বিভব V_0 সর্বোচ্চ গতিশক্তি সম্পন্ন ইলেকট্রনকেও B পাতে পৌছাতে দেয় না। যদি e চার্জ বিশিষ্ট m ভরের ইলেকট্রন A পাত থেকে সর্বোচ্চ v_{max} বেগে নির্গত হয় তবে ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতি শক্তি $\frac{1}{2}mv_{\max} = eV_0$ । যে ইলেকট্রনগুলো এর চেয়ে কম বেগে নির্গত হবে সেগুলো স্টপিং বিভব V_0 এর চেয়ে কম মন্দীভূত বিভবে B পাতে যাওয়া বন্ধ হয়ে যায়।

৮.৯.৩: পরীক্ষা লব্ধ ফলাফল থেকে আলো তড়িৎ প্রবাহ সম্পর্কিত বৈশিষ্ট্য সূচক সিদ্ধান্ড় সমূহ

হলওয়াশ, স্টোলেটভ, লেনার্ড ও অন্যান্য বিজ্ঞানীরা পরীক্ষা লব্ধ ফলাফল থেকে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্ড়ে উপনীত হন।

১। এটি একটি তাৎক্ষনিক ঘটনা। আলো আপতিত হওয়া ও ইলেকট্রন নির্গত হওয়ার মধ্যে সময়ের পার্থক্য শূন্য। (3×10^{-9} সেকেন্ড মাত্র)
২। আলোক তীব্রতা বৃদ্ধির সাথে সাথে কোন ধাতব তল থেকে প্রতি সেকেন্ডে নির্গত ফটো-ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। কিন্তু নির্গত ফটো-ইলেকট্রনের গতি শক্তি বৃদ্ধি পায়না।
৩। ধাতুর বৈশিষ্ট্যের উপর ভিত্তি করে নির্দিষ্ট সূত্রপাতকারী কম্পাংক (Thresold frequency) অতিক্রম না করা পর্যন্ড় আলোক তীব্রতা যতই বৃদ্ধি করা হোক না কেন ধাতব তল থেকে কোনো ফটো-ইলেকট্রন নির্গত হয় না।
৪। নির্দিষ্ট সূত্রপাতকারী কম্পাংক অতিক্রম করার পর কম্পাংক যতই বৃদ্ধি করা হয় নির্গত ফটো-ইলেকট্রনের গতিশক্তি ততই বৃদ্ধি পেতে থাকে।

৮.৯.৪: আলো তড়িৎ ক্রিয়া সম্পর্কিত যে বৈশিষ্ট্য সূচক সিদ্ধান্ড়গুলো পাওয়া যায় তাদের মধ্যে চিরায়ত বলবিদ্যার অসংগতি

তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ তত্ত্ব অনুসারে তরঙ্গ তলে তরঙ্গ শক্তি সমভাবে বন্টিত থাকে। বস্তুর ইলেকট্রন এই তরঙ্গ তলের খুব ক্ষুদ্র অঞ্চল জুড়ে সংস্পর্শে আসে। সুতরাং সেই অঞ্চল থেকে শক্তি শোষণ করে নিউক্লিয়াস থেকে বিচ্ছিন্ন হওয়ার মত প্রয়োজনীয় শক্তি সংগ্রহ করার জন্য যথেষ্ট সময় প্রয়োজন। কিন্তু আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা। সুতরাং তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ তত্ত্ব অনুসারে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় তাৎক্ষণিক ঘটনার ব্যাখ্যা দেয়া সম্ভব নয়।

ধাতব তল থেকে নির্গত ফটোইলেকট্রনের গতিশক্তি আলোর তীব্রতার উপর নির্ভরশীল নয় কম্পাংকের উপর নির্ভরশীল। তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ তত্ত্ব অনুসারে আলোক তীব্রতা বৃদ্ধির সাথে সাথে গতিশক্তি বৃদ্ধি পাবে যা পরীক্ষা লব্ধ ফলাফলের সাথে মিলে না।

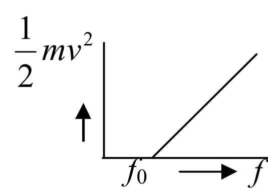
ধাতুর বৈশিষ্ট্যের উপর ভিত্তি করে নির্দিষ্ট সূত্রপাতকারী কম্পাংকের নীচে যতই তীব্রতা থাকুক না কেন আপতিত আলোক তরঙ্গ ধাতব তল থেকে কোন ফটোইলেকট্রন নির্গত করতে পারে না। কিন্তু তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ তত্ত্ব অনুসারে যথেষ্ট প্রয়োজনীয় তীব্রতা থাকলে যে কোন কম্পাংকের আলোক তরঙ্গ ধাতব তল থেকে ফটোইলেকট্রন নির্গত করতে সক্ষম যা পরীক্ষা লব্ধ ফলাফলের অনুরূপ নয়।

৮.৯.৫: প্লাংকের কোয়ান্টাম তত্ত্ব ব্যবহার করে আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যা

আইনস্টাইন আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার ফলাফল প্লাংকের কোয়ান্টাম তত্ত্বের উপর ভিত্তি করে যুক্তি সঙ্গত ব্যাখ্যা দেন। প্লাংকের স্বীকার্য অনুযায়ী বিকিরণ ঝাঁক ঝাঁক কণার সমষ্টি। প্রতিটি কণার শক্তি $E = hf$ । (এখানে h হলো প্লাংকের ধ্রুবক যার মান 6.63×10^{-34}Js এবং f হলো কম্পাংক) এই শক্তি অখন্ড এবং একে কোয়ান্টা বলে। বিকিরণ শক্তি শুধু কোয়ান্টা আকারে শোষিত বা নিঃসৃত হয় না, স্থানান্তরের সময়ও কোয়ান্টা আকারে প্রবাহিত হয়। শূন্য মাধ্যমে এর বেগ আলোর বেগের সমান। এই কোয়ান্টার নাম ফোটন।

এই জন্য এই তত্ত্বকে আইনস্টাইনের ফোটন তত্ত্বও বলে। তিনি প্রস্তাব করেন যে, একটি ফোটনের যখন কোনো পরমাণুর ইলেকট্রনের সাথে সংঘাত ঘটে সে সংঘাত সর্বদাই স্থিতিস্থাপক অর্থাৎ এই সংঘাতে কোন শক্তির অপচয় হয়না। এই সংঘাতের ফলে হয় ইলেকট্রনটি ফোটনের সমস্ত শক্তি শোষণ করে নতুবা কোনো শক্তি শোষণ করে না। সমস্ত শক্তি শোষণ করলে ইলেকট্রন hf শক্তি লাভ করে।

পরমাণুর ইলেট্রনগুলো নিউক্লিয়াসের আকর্ষণে নিউক্লিয়াসের সাথে আবদ্ধ থাকে। সুতরাং ধাতুর পরমাণু থেকে ইলেট্রনকে মুক্ত করতে হলে নিউক্লিয়াসের এই আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কিছু কাজ সম্পন্ন করতে হয় অর্থাৎ কিছু শক্তি ব্যয়িত হয়। এই শক্তিকে ধাতুর আলোক-তড়িৎ কার্যাপেক্ষক (Work function) বলে। এই কাজের পরিমাণকে W_0 দিয়ে নির্দেশ করা হয়। এখন ইলেকট্রনের ফোটন থেকে শোষিত শক্তি hf যদি কার্যাপেক্ষক W_0 এর চেয়ে কম হয় তবে ধাতু থেকে কোনো ইলেকট্রন নির্গত হবে না। hf যদি W_0 এর সমান হয় তবে শূন্য গতি শক্তি সম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হবে এবং এই ইলেকট্রন নির্গত হয়ে ধাতুব পৃষ্ঠে অবস্থান করবে। আর hf যদি W_0 এর চেয়ে বেশী হয় তবে W_0 এর চেয়ে বেশী শক্তিটুকু ইলেকট্রনটি গতিশক্তি হিসাবে লাভ করবে।



চিত্র : ৮.৯

ধরা যাক, ফো'টন থেকে hf শক্তি গ্রহন করে m ভরের একটি ইলেকট্রন সর্বোচ্চ $v_{\max}$ বেগে ধাতুর পৃষ্ঠ থেকে নির্গত হলো। তাহলে ইলেকট্রনটি সর্বোচ্চ $\frac{1}{2}mv_{\max}^2$ গতিশক্তি লাভ করবে। যদি ধাতুর আলোক-তড়িৎ কার্যাপেক্ষক W_0 তবে আমরা লিখতে পারি,

ফোটনের শক্তি, $hf = W_0 + \frac{1}{2}mv_{\max}^2$ …… ……………………………………… (৮.৫২)

একে আইনস্টাইনের আলো তড়িৎ তত্ত্বের সমীকরণ বলে।

(৮.৫২) নং সমীকরণ থেকে লেখা যায়, ইলেকট্রনটি সর্বোচ্চ গতিশক্তি,

$\frac{1}{2}mv_{\max}{}^2 = hf - W_0$ ………………………………………………………(৮.৫৩)

যে কম্পাংকের ফোটনের শক্তি শোষণ করে কোনো ধাতুর পৃষ্ঠ থেকে শূন্য গতি শক্তি সম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হবে অর্থাৎ সম্পূর্ণ শোষিত শক্তিটি কার্যাপেক্ষক W_0 এর জন্য ব্যয়িত হবে তাকে সূত্রপাতকারী কম্পাংক (Thresold frequency) বলে এবং একে f_0 দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

অতএব, $hf_0 = W_0$ ……………………………………………………… (৮.৫৪)

(৮.৫৪) নং সমীকরণের মান (৮.৫৩) নং সমীকরণে বসালে,

$$hf - hf_0 = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 \quad \text{(৮.৫৫)}$$

বা, $$h\left(\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda_0}\right) = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 \quad \text{(৮.৫৬)}$$

বা, $$hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right) = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 \quad \text{(৮.৫৭)}$$

V_0 নিবৃত্তি বিভব প্রয়োগ করলে কোনো ইলেকট্রন যদি ধাতব পৃষ্ঠ থেকে শূন্য গতিশক্তি নিয়ে নির্গত হয় তবে,

$$\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = eV_0 \quad \text{(৮.৫৮)}$$

(৮.৫৭) ও (৮.৫৮) নং সমীকরণ থেকে লেখা যায়,

$$hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right) = eV_0 \quad \text{(৮.৫৯)}$$

(৮.৫৩), (৮.৫৫), (৮.৫৬), (৮.৫৭), (৮.৫৮) ও (৮.৫৯) নং সমীকরণগুলো আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ ক্রিয়া সমীকরণের বিভিন্ন রূপ।

৮.৯.৬: চিরায়ত বলবিদ্যার সাথে অসংগতিপূর্ণ অবস্থাগুলোর কোয়ান্টাম ধারণার সাহায্যে ব্যাখ্যা

আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার পরীক্ষা থেকে প্রাপ্ত ফলাফল ব্যাখ্যায় চিরায়ত বলবিদ্যার সাথে অসংগতিপূর্ণ অবস্থাগুলো হলো- আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায়,

১। আলোক তীব্রতার সাথে ইলেকট্রনের গতিশক্তির সম্পর্ক না থাকা,

২। সূত্রপাতকারী কম্পাংকের নীচের কম্পাংকে ইলেকট্রন নির্গত না হওয়া এবং

৩। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা।

চিরায়ত বলবিদ্যা ব্যাখ্যা দিতে অসমর্থ। আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ তত্ত্ব এগুলো সঠিক ব্যাখ্যা দেয়।

কোয়ান্টাম ধারণার সাহায্যে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখ্যা

১) কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে, f কম্পাংক বিশিষ্ট বিকিরণ রশ্মির তীব্রতার অর্থ হলো প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে লম্ব ভাবে অতিক্রমকারী hf শক্তি সম্পন্ন ফোটন সংখ্যা। তীব্রতা কখনই শক্তির উপর নির্ভরশীল নয়। সুতরাং তীব্রতা বৃদ্ধির সাথে সাথে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে ফোটন সংখ্যার বৃদ্ধি। ফোটন সংখ্যা বৃদ্ধি পেলে সংঘাতকারী ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধি পাবে ফলে নির্গত ইলেকট্রনের সংখ্যা বাড়বে এবং নির্গত ইলেকট্রনের শক্তি পূর্বের মতই অপরিবর্তীত থাকবে।

২) কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে, নির্দিষ্ট ধাতুপৃষ্ঠে সূত্রপাতকারী কম্পাংক (Thresold frequency) f_0 (যার শক্তি hf_0) এসে পড়লে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াস থেকে শুধু মাত্র শূন্য গতি শক্তি নিয়ে নির্গত হয়ে ধাতুপৃষ্ঠে অবস্থান করবে। আমরা আইনস্টাইনের সূত্র থেকে লিখতে পারি $0 = hf_0 - W_0$ বা, $f_0 = \frac{W_0}{h}$ । সুতরাং এর চেয়ে কম কম্পাংকের যত প্রাবল্যের (ফোটন ঘনত্বের) বিকিরণ আপতিত করা হোক না কেন ধাতুপৃষ্ঠ থেকে কোন ইলেকট্রন নির্গত হবে না।

৩) কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে f কম্পাংক বিশিষ্ট ফোটন (এখানে $f > f_0$ ধরা হয়েছে) hf শক্তি সম্পন্ন একটি কণার ন্যায় আচরণ করে। সুতরাং ফোটনটি ইলেকট্রনকে আঘাত করা মাত্রই (যেহেতু $f > f_0$) ইলেকট্রনটি পরমাণু থেকে ছিটকে (কণার ধর্ম অনুসারে) বের হয়ে আসবে। সুতরাং এটি একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা।

উদাহরণ ৮.৯: একটি ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক $3.3\times10^{14}\,\text{Hz}$ । যদি $8.2\times10^{14}\,\text{Hz}$ কম্পাঙ্কের আলো ঐ ধাতুর উপর আপতিত হয় তবে ফটোতড়িৎ নিঃসরণে নিবৃত্ত বিভব কত হবে বের করুন।

সমাধান : দেয়া আছে, $\nu_0 = 3.3\times10^{14}\,\text{Hz}$, $\nu = 8.2\times10^{14}\,\text{Hz}$ এবং $V = ?$

আমরা জানি, $E = h\nu = W_0 + \frac{1}{2}mv^2 = h\nu_0 + \frac{1}{2}mv^2$

বা, $h(\nu-\nu_0) = \frac{1}{2}mv^2 = eV$

বা, $V = h\frac{(\nu-\nu_0)}{e}$

মান বসালে, $V = 6.63\times10^{-34}\times\frac{(8.2\times10^{14}-3.3\times10^{14})}{1.6\times10^{-19}} = \frac{6.63\times4.9}{1.6}\times10^{-1} = 2.03\text{V}$

উ: 2.03V

উদাহরণ ৮.১০: কোনো পদার্থের কার্যাপেক্ষক 1.85 eV হলে ঐ পদার্থের সূচন কম্পাঙ্ক কত ?

সমাধান: দেয়া আছে, $W_0 = 1.85\text{eV} = 1.85\times1.6\times10^{-19}\,\text{J} = 2.96\times10^{-19}\,\text{J}$ এবং $f_0 = ?$

আমরা জানি, কার্য অপেক্ষক, $W_0 = hf_0$ বা, $f_0 = \frac{W_0}{h}$

মান বসালে, $f_0 = \frac{2.96\times10^{-19}}{6.63\times10^{-34}} = 4.465\times10^{14}\,\text{Hz}$

উ: $4.465\times10^{14}\,\text{Hz}$

উদাহরণ ৮.১১: সোডিয়ামের কার্যাপেক্ষক 2.3eV । এর উপর 2000Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মি আপতিত হলে নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ণয় করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $W_0 = 2.3\,\text{eV} = 2.3\times1.6\times10^{-19}\,\text{J} = 3.68\times10^{-19}\,\text{J}$,

$\lambda_0 = 2000\text{Å} = 2000\times10^{-10}\,\text{m}$ এবং $E_{k_{\max}} = ?$

আমরা জানি, আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণ থেকে, $hf = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 + W_0 = E_{k_{\max}} + W_0$

বা, $E_{k_{\max}} = hf - W_0 = h\frac{c}{\lambda} - W_0$

মান বসালে, $E_{k_{\max}} = 6.63\times10^{-34}\times\frac{3\times10^8}{2000\times10^{-10}} - 3.68\times10^{-19}$

$E_{k_{\max}} = 6.63\times10^{-34}\times15\times10^{14} - 3.68\times10^{-19}$

$E_{k_{\max}} = 9.95\times10^{-19} - 3.68\times10^{-19}\,\text{J}$

$E_{k_{\max}} = 6.27\times10^{-19}\,\text{J} = \frac{6.27\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}\text{eV} = 3.92\text{eV}$

উ: 3.92eV

উদাহরণ ৮.১২: কোন ধাতুর নিবৃতি বিভবের মান কত হলে ঐ ধাতু হতে নিঃসৃত $2000\,\text{kms}^{-1}$ বেগে একটি ইলেকট্রন নিবৃত্ত হবে ?

সমাধান: দেয়া আছে, $v = 2000\,\text{kms}^{-1} = 1\times10^{6}\,\text{ms}^{-1}$, $m_e = 9.11\times10^{-31}\,\text{k}g$, $e = 1.6\times10^{-19}\,\text{C}$ এবং $V_0 = ?$

আমরা জানি, $\frac{1}{2}mv^2 = eV_0$

বা, $V_0 = \frac{mv^2}{2e}$

মান বসালে, $V_0 = \frac{9.1\times10^{-31}\times\left(2\times10^{6}\right)^2}{2\times1.6\times10^{-19}} = 11.375\text{V}$

উ: 11.375V

সার-সংক্ষেপ :

আলো তড়িৎ ক্রিয়া : কোনো ধাতব পৃষ্ঠে উপযুক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেললে তার থেকে ইলেকট্রন নির্গত হয়। এই ঘটনাকে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বলে।

ফটোইলেকট্রন: আলোতড়িৎ ক্রিয়ায় নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলোকে ফটোইলেকট্রন বলে।

আলোতড়িৎ প্রবাহ: উপযুক্ত ব্যবস্থার সাহায্যে ফটোইলেকট্রনগুলোর একমুখী স্রোত তৈরি করা যায়। এর ফলে যে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয় তাকে আলোতড়িৎ প্রবাহ বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৮.৯

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

নিচের অনুচ্ছেদটি পড়ো এবং ১ ও ২ নং প্রশ্নগুলোর উত্তর দাওঃ

$4000^0\,\text{A}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো কোনো ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হলে যে ইলেকট্রন নির্গত হয় তার সর্বোচ্চ গতিশক্তির মান 0.4eV।

১. ধাতব পৃষ্ঠের উপর আপতিত ফোটনের শক্তি-

ক. 4.1078eV খ. 2.7810eV গ. 3.1078eV ঘ. 1.30eV

২. ঐ ধাতুর কার্যাপেক্ষক-

ক. 2.70 eV খ. 3.707 eV গ. 3.5078 eV ঘ. 4.3078 eV

পাঠ ৮.১০: আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের গুরুত্বপূর্ণ বিষয়
Some Important Facts of Mordern Physics

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- দ্য ব্রগলীর তরঙ্গ ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কম্পটন ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৮.১০.১: আলোর দ্বৈত প্রকৃতি (Dual Nature of Light)

আমরা জানি আলোর উপরিপাতনের ফলে ব্যাতিচার (interference), অপবর্তন (difference) ঘটে। আলায় আলোয় মিথস্ক্রিয়ার (interaction) ফলে এইরূপ হয়। ব্যতিচার, অপবর্তন এবং অন্যান্য আলোকীয় ঘটনা যেমন, প্রতিফলন (reflaction), প্রতিসরণ (refraction), পোলারায়ণ (polarization) এর পরীক্ষামূলক ফলাফল থেকে এই

সিদ্ধান্ড়ে উপনীত হওয়া যায় যে, আলো তরঙ্গাকারে গতিশীল সুতরাং এই ঘটনাগুলো তরঙ্গ তত্ত্ব এবং বিকিরণের তাড়িতচৌম্বক তত্ত্ব দিয়ে সম্পূর্ণরূপে ব্যাখ্যা করা যায়।

অপরদিকে অন্য জাতীয় ঘটনা যা বিকিরণ এবং কণার মিথস্ক্রিয়ার ফলে ঘটে যেমন কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ, আলো তড়িৎ ক্রিয়া, কম্পটন ক্রিয়াগুলোকে তরঙ্গ তত্ত্ব এবং বিকিরণের তাড়িতচৌম্বক তত্ত্ব দিয়ে ব্যাখ্যা করা যায় না। আমার দেখেছি এগুলো ব্যাখ্যা করার জন্য বিকিরণ শক্তিকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র শক্তির প্যাকেটের গুচ্ছ প্রবাহ আকারে বিবেচনা করা হয়। এই শক্তিকে আলোর কোয়ান্টা (quanta) বা ফোটন (photon) বলে। প্রতিটি ফোটনের শক্তি মান $E = hf$ । যেখানে কম্পাংক $f = \frac{c}{\lambda}$ এখানে λ হলো বিকিরণের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য। বিকিরণ শক্তি যখন কণার সাথে মিথস্ক্রিয়া ঘটায় তখন ফোটন তার সমস্ড় শক্তি কণাকে দান করে। আলোর কণা ধর্ম এবং তরঙ্গ ধর্ম অর্থাৎ দ্বৈত ধর্ম আছে। হাইজেনবার্গ প্রস্ড়াব করেন যে আলোর দ্বৈত ধর্ম বিদ্যমান তবে এরা পরস্পরের পরিপূরক। অর্থাৎ একই পরীক্ষায় আলো কখনই তার দ্বৈত ধর্ম প্রকাশ করে না। অর্থাৎ কোন পরীক্ষায় যদি আলো তার তরঙ্গ ধর্ম প্রদর্শন করে তবে সেই পরীক্ষা দ্বারা কোনো ভাবেই আলোর কণা ধর্ম পর্যবেক্ষণ করা সম্ভব নয়। অনুরূপ ভাবে বিপরীত ঘটনাও সত্য। পরবর্তিতে ডি-ব্রগলী (De-Broglie) বহু সংখ্যক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে সৃষ্ট গুচ্ছ তরঙ্গের (gorup wave) ধারণা দেন এবং ভরবেগের সাথে তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে একটি সম্পর্ক $\lambda = \frac{h}{p}$ স্থাপন করেন। তিনি আরো প্রস্ড়াব করেন যে আলোর যেমন কণা ধর্ম বিদ্যমান তেমনি কণারও তরঙ্গ ধর্ম বিদ্যমান। ১৯২৪ সালে ডি-ব্রগলী প্রস্ড়াব করেন যে, আলোর ন্যায় পরমাণবিক স্ড়রের কণাও (যেমন ইলেকট্রন) আলোর ন্যায় দ্বৈত ধর্ম প্রদর্শন করে এবং ১৯২৭ সালে পরীক্ষার মাধ্যমে তা প্রমাণ করেন।

৮.১০.২: পদার্থ তরঙ্গ (Matter Wave):

তরঙ্গ যেমন কিছু ক্ষেত্রে কণার নায় আচরণ করলেও কণা যে কিছু ক্ষেত্রে তরঙ্গের ন্যায় আচরণ করে সে বিষয় ১৯২৪ খ্রিস্টাব্দে ফরাসি বিজ্ঞানী ডি-ব্রগলী (De-Broglie) প্রথম উপস্থাপন করেন। তার এই সিদ্ধান্ড়ের পিছনে নীচের কারণগুলো যুক্তি সংগত।

১। প্রকৃতি প্রতিসাম্য (Symmetry) পছন্দ করে। প্রকৃতির দুটি সত্তা-পদার্থ ও শক্তি অবশ্যই প্রতিসাম্য থাকবে।

২। শক্তি (বিকিরণ) যদি তরঙ্গরূপী ও কণারূপী হয় তবে পদার্থও তরঙ্গরূপী ও কণারূপী হবে।

৩। একটি আলোকরশ্মিগুচ্ছ (যা একটি তরঙ্গ) কোনো বস্তুর বিভিন্ন বিন্দুতে শক্তি ও ভরবেগ হস্ড়ান্ড়রিত করতে পারে, আবার একটি কণার স্রোতও কোনো বস্তুর বিভিন্ন বিন্দুতে শক্তি ও ভরবেগ হস্ড়ান্ড়রিত করতে পারে। সুতরাং কণার স্রোত পদার্থ তরঙ্গ হবে।

৮.১০.৩: ডি-ব্রগলীর সমীকরণ (De-Broglie Equation)

ডি-ব্রগলী কণা ধর্ম এবং তরঙ্গ ধর্মকে সম্পর্কযুক্ত করে যে সমীকরণ প্রতিপাদন করেন তা ডি-ব্রগলী সমীকরণ নামে পরিচিত।

ডি-ব্রগলী তার সমীকরণটি কেবল মাত্র প্রতিষ্ঠিত দুইটি সমীকরণকে সংযোগের মাধ্যমে প্রতিপাদন করেন,

পণ্ড়াঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে একটি ফোটনের শক্তি, $E = hf$ …… … … … … … … … … (৮.৬০)

আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতার সূত্র অনুসারে, $E^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4$ …… … … … … … ……... … (৮.৬১)

ফোটনের ক্ষেত্রে এর স্থির ভর $m_0 = 0$

সুতরাং ফোটনের ক্ষেত্রে আইনস্টাইনের সূত্র থেকে $E^2 = p^2c^2 + 0$

বা, $E = pc$

বা, $p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{c/f} = \frac{h}{\lambda}$ [পণ্ড়াঙ্কের সূত্র ব্যবহার করে] $[\because c = f\lambda]$

বা, $\lambda = \frac{h}{p}$ … (৮.৬২)

এটাই ডি-ব্রগলীর সমীকরণ নামে পরিচিত।
এই সমীকরণে তেজশক্তির দ্বৈত প্রকৃতি প্রকাশিত হয়েছে। অর্থাৎ কণা ধর্ম ভরবেগর সাথে তরঙ্গ ধর্ম তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সম্পর্ক স্থাপিত হয়েছে। এই সমীকরণ দ্বারা ফোটনের কণা ধর্ম প্রদর্শীত হয়েছে। ডি-ব্রগলীর আরো উলেণ্টখ করেন যে, ফোটনের মত প্রতিটি কণারই তরঙ্গ ধর্ম বিদ্যমান। সেক্ষেত্রে, $p = mv$, এখানে m হলো কণার ভর।
অতএব, কণার অনুসঙ্গী ডি-ব্রগলীর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য,

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (৮.৬৩)$$

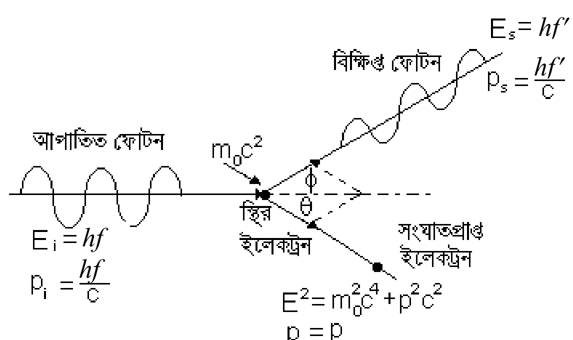
ডি-ব্রগলীর প্রকল্পের সম্পূর্ণ বিবৃতি: যে কোনো কণার স্রোত তরঙ্গের ন্যায় আচরণ করে। যা পদার্থ তরঙ্গ নামে পরিচিত। এই পদার্থ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ ।
এখানে, $m =$ কণার ভর, $v =$ কণার বেগ এবং $p =$ কণার ভরবেগ।

তরঙ্গদৈর্ঘ্য (তরঙ্গের একটি বৈশিষ্ট্য) ও ভরবেগ (কণার একটি বৈশিষ্ট্য) নিয়ে সম্পর্কিত $\lambda = \frac{h}{mv}$ সমীকরণ থেকে নীচের সিদ্ধান্ড়গুলিতে আসা যায়।

১। যদি $v = 0$ হয় তবে $\lambda = \infty$ হবে অর্থাৎ কেবল মাত্র গতিশীল কণার সাথেই পদার্থ তরঙ্গ জড়িত থাকে।
২। কণাটি চার্জিত না অচার্জিত তার উপর ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ভরশীল নয়। এর অর্থ হলো পদার্থ তরঙ্গ তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ নয়। কারণ তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ ত্বরণসম্পন্ন চার্জ থেক উৎপন্ন হয়।
৩। কণার ভর(m) অথবা বেগ(v) এর মান বড় হলে ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) খুব ছোট হয়।
৪। কণার ভরবেগ (p) বৃদ্ধি পেলে ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) হ্রাস পায়।
৫। যেহেতু পদার্থ তরঙ্গ পদার্থের সংশিণ্টষ্ট তরঙ্গ সেহেতু কণার বেগ এবং পদার্থ তরঙ্গের বেগ সমান। অর্থাৎ কণা যেখানে অবস্থান করে পদার্থ তরঙ্গও সেখানে অবস্থান করে।
৬। যেহেতু যে কোনো কণার স্রোতকে পদার্থ তরঙ্গ হিসাবে ধরে নেয়া চলে সেহেতু কণার স্রোত যদি বাঁধাহীনভাবে অগ্রসর হতে থাকে তবে সংশিণ্টষ্ট পদার্থ তরঙ্গটি চল তরঙ্গ হিসাবে আচরণ করবে।
৭। অপরদিকে কণার স্রোত যদি একটি নির্দিষ্ট অঞ্চলে সীমাবদ্ধ থাকে তবে পদার্থ তরঙ্গ স্থির তরঙ্গের ন্যায় আচরণ করবে।

৮.১০.৪: কম্পটন ক্রিয়া (The Compton Effect)

একটি একবর্ণী X -রশ্মি অ্যালুমনিয়াম, গ্রাফাইট (কার্বন) প্রভৃতি হালকা মৌলের ইলেকট্রন দ্বারা বিক্ষিপ্ত (scattered) হলে বিক্ষিপ্ত রশ্মির মধ্যে অপরিবর্তিত তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ছাড়াও পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যে X-রশ্মি পাওয়া যায়। এই পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যগুলি প্রাথমিক X-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে দীর্ঘতর। বিজ্ঞানী আর্থার কম্পটন এই ঘটনা আবিষ্কার করেন। তাঁর নাম অনুসারে এই ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।
চিরায়ত তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গতত্ত্ব এই ঘটনাকে সন্ড়োষজনক ব্যাখ্যা দানে অসমর্থ। এই তত্ত্বানুসারে X -রশ্মি একটি অতিক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যর তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ হিসাবে ইলেকট্রনের উপরে একটি পরিবর্তিত (সাইন আকৃতির) তাড়িতচৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করবে ফলে ইলেকট্রনটি একই কম্পাঙ্গে কম্পিত হতে থাকবে।



চিত্র: ৮.১০

চিরায়ত তত্ত্বানুসারে কম্পমান চার্জ একই কম্পাঙ্কের তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ প্রদানে সক্ষম। ভিন্ন কম্পাঙ্গে অর্থাৎ ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপস্থিতি সম্পর্কে এই তত্ত্ব ব্যাখ্যা প্রদানে অক্ষম।
আইনস্টাইনের ফোটন তত্ত্বের ভিত্তিতে কম্পটন তার কম্পটন তত্ত্বের ব্যাখ্যা দেন। ফোটন ভরবিহীন কণার ন্যায় আচরণ করে। এর প্রতিটি কণার শক্তি $E_i = hf$ । এখানে, h হলো পণ্ডাংকের ধ্রুবক। এর ভরবেগ $p_i = \frac{hf}{c}$ । একটি ফোটন ও

একটি ইলেকট্রনের মধ্যে সংঘর্ষকে চিরায়ত বলবিদ্যার বিলিয়ার্ড বলের সংঘর্ষের ন্যায় সংঘর্ষ হিসাবে বিবেচনা করা,যেতে পারে।

মনে করি পরীক্ষাগার স্থানাঙ্ক কাঠামোতে একটি m_0 স্থির ভর বিশিষ্ট ইলেকট্রনের সাথে একটি X-রশ্মি-ফোটনের সংঘর্ষ হলো ফলে ফোটন কিছু পরিমান শক্তি হারিয়ে $E_s = hf'$ এবং ভরবেগ $p_s = \frac{hf'}{c}$ হলো। এখানে f' হলো পরিবর্তিত কম্পাঙ্ক। আর ইলেকট্রন সেই শক্তি গ্রহণ করে গতিশক্তি প্রাপ্ত হলো। সংঘর্ষের পর বিক্ষিপ্ত ফোটন ও প্রতিক্ষিপ্ত (recoil) ইলেকট্রন আপতিত ফোটনের দিকের সাথে যথাক্রমে ϕ ও θ কোণ উৎপন্ন করে।

তাহলে, ফোটনের শক্তি ক্ষয় = ইলেকট্রনের গতিশক্তি অর্জন, $T = hf - hf'$

বা, $T = h(f - f')$ ……………………………………………………… (৮.৬৪)

m_0 স্থির ভর বিশিষ্ট ইলেকট্রনের শক্তি m_0c^2 এবং ভরবেগ শূন্য।

সংঘাতের পর ইলেকট্রনের মোটশক্তি, $E = T + m_0c^2$

(৮.৬৪) নং সমীকরণের মান বসালে, $E = h(f - f') + m_0c^2$

বা, $E^2 = \left[h(f - f') + m_0c^2\right]^2$

বা, $E^2 = h^2(f - f')^2 + {m_0}^2c^4 + 2h(f - f')m_0c^2$

বা, $E^2 = h^2\left(f^2 + f'^2 - 2ff'\right) + {m_0}^2c^4 + 2h(f - f')m_0c^2$ ……………………………… (৮.৬৫)

আপেক্ষিক তত্ত্বানুসারে সংঘাতের পর ইলেকট্রনের মোটশক্তি,

$E^2 = p^2c^2 + {m_0}^2c^4$ …… ………………………………………………… (৮.৬৬)

(৮.৬৬) নং সমীকরণের মান (৮.৬৫) নং সমীকরণে বসালে,

$\therefore p^2c^2 + {m_0}^2c^4 = h^2\left(f^2 + f'^2 - 2ff'\right) + {m_0}^2c^4 + 2h(f - f')m_0c^2$

বা, $p^2c^2 = h^2\left(f^2 + f'^2 - 2ff'\right) + 2h(f - f')m_0c^2$ …… ………………………… (৮.৬৭)

আবার ভবেগের নিত্যতার সূত্রানুসারে x-অক্ষ বরাবর ভরবেগ, $\frac{hf}{c} + 0 = \frac{hf'}{c}\cos\phi + p\cos\theta$

বা, $hf = hf'\cos\phi + pc\cos\theta$

বা, $pc\cos\theta = hf - hf'\cos\phi$

বা, $(pc\cos\theta)^2 = (hf - hf'\cos\phi)^2$

বা, $p^2c^2\cos^2\theta = h^2f^2 - 2h^2ff'\cos\phi + h^2f'^2\cos^2\phi$ … ………………………… (৮.৬৮)

আবার, ভরবেগের নিত্যতার সূত্রানুসারে Y-অক্ষ বরাবর ভরবেগ, $0 = \frac{hf'}{c}\sin\phi - p\sin\theta$

বা, $0 = hf'\sin\phi - pc\sin\theta$

বা, $p^2c^2\sin^2\theta = h^2f'^2\sin^2\phi$ … ……………………………………………… (৮.৬৯)

(৮.৬৮) ও (৮.৬৯) নং সমীকরণকে যোগ করলে,

$p^2c^2\sin^2\theta + p^2c^2\cos^2\theta = h^2f^2 - 2h^2ff'\cos\phi + h^2f'^2\cos^2\phi + h^2f'^2\sin^2\phi$

বা, $p^2c^2\left(\sin^2\theta + \cos^2\theta\right) = h^2f^2 - 2h^2ff'\cos\phi + h^2f'^2\left(\cos^2\phi + \sin^2\phi\right)$

বা, $p^2c^2 = h^2f^2 - 2h^2ff'\cos\phi + h^2f'^2$

বা, $p^2c^2 = h^2\left(f^2 + f'^2 - 2ff'\cos\phi\right)$ ……………………………………………… (৮.৭০)

(৮.৭০) নং সমীকরণের মান (৮.৬৮) নং সমীকরণে বসালে,

$$h^2\left(f^2+f'^2-2ff'\cos\phi\right)=h^2\left(f^2+f'^2-2ff'\right)+2h(f-f')m_0c^2$$

বা, $-2h^2ff'\cos\phi=-2h^2ff'+2h(f-f')m_0c^2$

বা, $2h(f-f')m_0c^2=2h^2ff'-2h^2ff'\cos\phi=2h^2ff'(1-\cos\phi)$

বা, $\dfrac{(f-f')}{ff'}=\dfrac{h}{m_0c^2}(1-\cos\phi)$

বা, $\dfrac{1}{f'}-\dfrac{1}{f}=\dfrac{h}{m_0c^2}(1-\cos\phi)$ ……………………………………………… (৮.৭১)

বা, $\dfrac{c}{f'}-\dfrac{c}{f}=\dfrac{h}{m_0c}(1-\cos\phi)$ $[\because c=f\lambda]$

বা, $\lambda'-\lambda=\Delta\lambda=\dfrac{h}{m_0c}(1-\cos\phi)$ ……………………………………………… (৮.৭২)

বা, $\Delta\lambda=\dfrac{2h}{m_0c}\sin^2\dfrac{\phi}{2}$ ……………………………………………… (৮.৭৩)

(৮.৭১), (৮.৭২) ও (৮.৭৩) নং সমীকরণই কম্পটন ফলাফল সমীকরণ। এখানে $\Delta\lambda$ হলো তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন। (৮.৭১), (৮.৭২) ও (৮.৭৩) নং সমীকরণটি নির্দেশ করে যে $\lambda'>\lambda$ বা $f'<f$ অর্থাৎ বিক্ষিপ্ত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা বৃহত্তর।

সমীকরণটি আরো নির্দেশ করে যে, তরঙ্গদৈর্ঘ্যে পরিবর্তন আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্কের উপর বা বিক্ষেপ প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল নয় শুধু মাত্র বিক্ষেপ কোণের উপর নির্ভরশীল।

যদি বিক্ষেপ কোণ $\phi=\dfrac{\pi}{2}$ হয় তবে $\cos\phi=0$, তখন (৮.৭২) নং সমীকরণ থেকে $\Delta\lambda=\lambda'-\lambda=\dfrac{h}{m_0c}$ ।

এই ধ্রুবক $\dfrac{h}{m_0c}$ কে বিক্ষেপ কণার কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে এবং λ_k দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

অতএব, ইলেকট্রনের কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$\lambda_k=\dfrac{h}{m_0c}=\dfrac{6.625\times10^{-34}}{9.1\times10^{-31}\times3\times10^8}=0.0242\,\mathring{A}$ ……………………………………… (৮.৭৪)

এখানে আরো লক্ষণীয় যে, কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_k=\dfrac{h}{m_0c}$ থেকে লেখা যায়, $m_0c=\dfrac{h}{\lambda_k}$

বা, $m_0c^2=\dfrac{hc}{\lambda_k}=hf_k$

এখানে, m_0c^2 হলো ইলেকট্রনের স্থির ভর-শক্তি। সুতরাং, বলা যায় কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রকৃত পক্ষে বিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের স্থির ভর-শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান।

যদি বিক্ষেপ কোণ $\phi=\pi$ হয় তবে $\cos\phi=-1$,

তখন (৮.৭২) নং সমীকরণ থেকে, $\Delta\lambda=\lambda'-\lambda=\dfrac{2h}{m_0c}$ ।

সুতরাং, কম্পটন ক্রিয়ায় X-রশ্মি-ফোটনের সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন

$\dfrac{2h}{m_0c}=2\times0.0242\,\mathring{A}=0.0484\,\mathring{A}$

৮.১০.৫: কম্পটন তত্ত্বের সীমাবদ্ধতা।

১। কম্পটন তত্ত্বে বিক্ষিপ্ত তরঙ্গে কেন আপতিত তরঙ্গ উপস্থিত থাকে তার ব্যাখ্যা নাই।

নিম্নে আপতিত তরঙ্গে উপস্থিতির ব্যাখ্যা দেয়া হলো। কম্পটন তত্ত্বে ফোটনের পরমাণুর সাথে বহিঃকক্ষপথে হালকা ভাবে আবদ্ধ ইলেকট্রনের সংঘর্ষ ঘটে। তাছাড়াও ফোটন দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ অভ্যন্ড়রীণ ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষ ঘটায়। সে সব ইলেকট্রন পরমাণু থেকে বিচ্ছিন্ন হতে পারেনা। ফলে সমগ্র পরমাণু প্রতিক্ষিপ্ত (recoil) হয়। এই ধরণের সংঘর্ষে ইলেকট্রনের ভর এর পরিবর্তে পরমাণুর সমগ্র ভর কার্যকর হয়। যেহেতু পরমাণুর ভর ইলেকট্রনের স্থির ভরের চেয়ে কয়েক হাজারগুণ বেশী তাই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কোন পরিবর্তন হয়না।

উদাহরণ স্বরূপ গ্রাফাইট পরমাণুর ভর, $M_c = 12 \times 1840 \times m_0$, এখানে m_0 ইলেকট্রনের স্থির ভর।

আমরা জানি কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন $\Delta\lambda = \frac{2h}{m_0 c}\sin\frac{\phi}{2}$

ইলেকট্রনের স্থির ভর m_0 এর স্থলে সমগ্র পরমাণুর ভর M_c বসালে , $\Delta\lambda = \frac{2h}{M_c c}\sin^2\frac{\phi}{2}$

$\Delta\lambda$ এর মান সর্বোচ্চ হয় যখন ফোটনের বিক্ষেপ কোণ সর্বাধিক অর্থাৎ , $\phi = \pi$ হবে।

বা, $$\Delta\lambda = \frac{2h}{M_c c}\sin^2\frac{\pi}{2} = \frac{1}{12\times 1840}\left(\frac{2h}{m_0 c}\right)\sin^2\frac{\pi}{2}$$

বা, $$\Delta\lambda = 9.058\times 10^{-5}\times 0.02426\,\mathring{A}$$

বা, $$\Delta\lambda = 2.197\times 10^{-8}\,\mathring{A}$$

অর্থাৎ, $\Delta\lambda$ এর মান অত্যন্ড় কম। সুতরাং ফোটন দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ অভ্যন্ড়রীণ ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষ ঘটলে তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত থাকে।

২। পরীক্ষায় দেখা যায় যে, হালকা পরমাণু দ্বারা বিক্ষিপ্ত X-রশ্মি-ফোটনের পরিবর্তিত তরঙ্গ আপতিত তরঙ্গ অপেক্ষা প্রাবল্য বেশী কিন্তু ভারী পরমাণু দ্বারা বিক্ষিপ্ত X-রশ্মি-ফোটনের পরিবর্তিত তরঙ্গ আপতিত তরঙ্গ অপেক্ষা প্রাবল্য কম। এই পরীক্ষালব্ধ ফলাফল কম্পটন তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না।

৮.১০.৬ : হাইজেনবার্গে-এর অনিশ্চয়তা নীতি (Heisenberg Uncertainty Principle)

হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি অনুসারে আণবিক স্ড়রে কোনো গতিশীল কণার ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট দিকে এর অবস্থান ও ভরবেগ যুগপৎ সঠিক ভাবে পরিমাপ করা সম্ভব নয়।

হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি নিম্নে দেয়া হলো,

আনবিক স্ড়রে হার্মিশিয়ান আইনানুগ জোড় (যেমন অবস্থান-ভরবেগ, সময়-শক্তি, কৌণিক অবস্থান-কৌণিক ভরবেগ ইত্যাদি) যুগপৎ সঠিক ভাবে পরিমাপ করা সম্ভব নয়। হার্মিশিয়ান আইনানুগ জোড়গুলোর অনিশ্চয়তার ত্র“টির গুণফল পণ্ঢাংকের হ্রাসকৃত ধ্র“ব $\hbar$ অপেক্ষা বৃহত্তর বা সমান।

যেমন, নির্দিষ্ট দিকে কোনো কণার অবস্থান ও ভরবেগ যুগপৎ সঠিক ভাবে পরিমাপ করা সম্ভব নয়। আনবিক স্ড়রে X-অক্ষ বরাবর গতিশীল কোনো কণার কোন এক সময় অবস্থানের অনিশ্চয়তা বা অবস্থান জনিত ত্র“টি Δx এবং ঐ সময় ভরবেগ অনিশ্চয়তা বা ভরবেগ জনিত ত্র“টি Δp_x এর গুণফল পণ্ড্যাংকের হ্রাসকৃত ধ্র“বক $\hbar$ অপেক্ষা বৃহত্তর বা সমান।

অর্থাৎ, $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$ [যেখানে $\hbar = \frac{h}{2\pi}$] ... ... (৮.৭৫)

অনুরূপভাবে Y ও Z- অক্ষ বরাবর যথাক্রমে,

$\Delta y \Delta p_z \geq \hbar$ এবং $\Delta z \Delta p_z \geq \hbar$

অনিশ্চয়তা নীতির আর এক রূপ এর ক্ষেত্র হলো কণার শক্তি E এবং যখন এই শক্তি পরিমাপ করা হচ্ছে তখন সময় t।

এই চলকের ক্ষেত্রে অনিশ্চয়তার নীতি হলো $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ যখন ΔE হলো শক্তি অনিশ্চয়তা এবং Δt হলো সময়ের অনিশ্চয়তা।

উপরিউক্ত সূত্রগুলো সাহায্যে আমরা বুঝতে পারি যে, যন্ত্র যত সূক্ষ্মই হোক না কেন আণবিক পালণ্ডায় পরিমাপের ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট ভুলের সীমার অতিক্রম করা কখনই সম্ভব নয়। কোনো বস্তুর অবস্থান যদি আমরা সঠিক ভাবে পরিমাপ করতে সক্ষম হই তবে ভরবেগের ত্র"টি হবে সর্বাধিক এবং এর বিপরীত ক্রমের ক্ষেত্রও সত্য। সুতরাং একই সঙ্গে অবস্থান ও ভরবেগ যুগপৎ সঠিক ভাবে নির্ণয় করা সম্ভব নয়। অনুরূপ ভাবে শক্তি ও সময় যুগপৎ সঠিক ভাবে নির্ণয় করা সম্ভব নয়। এই তত্ত্বটি মূলতঃ কণার দ্বৈত প্রকৃতি নির্দেশ করে। কণার যদি দ্বৈত প্রকৃতি না থাকতো তবে পরিমাপের ক্ষেত্রে এই অনিশ্চয়তার উদ্ভব হতো না।

৮.১০.৭ : অনিশ্চয়তা নীতির ভৌত তাৎপর্য

অনিশ্চয়তা নীতি $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$ থেকে নি¤œলিখিত সিদ্ধান্তে উপনিত হওয়া যায়,

১) যদি কোন উন্নত পরীক্ষা দ্বারা কণার অবস্থান কোন এক মূহুর্ত্যে সঠিক ভাবে পরিমাপ করা যায় অর্থাৎ অবস্থান জনিত অনিশ্চয়তা $\Delta x = 0$ হয় তবে সেই মুহুর্ত্যে ভরবেগ জনিত অনিশ্চয়তা Δp_x অসীম হয়ে যাবে।

২) যদি কোন উন্নত পরীক্ষা দ্বারা কণার ভবেগে কোন এক মূহুর্ত্যে সঠিক ভাবে পরিমাপ করা যায় অর্থাৎ ভরবেগ জনিত অনিশ্চয়তা $\Delta p_x = 0$ হয় তবে সেই মুহুর্তে অবস্থান জনিত অনিশ্চয়তা Δx অসীম হয়ে যাবে। সুতরাং একই সঙ্গে অবস্থান ও ভরবেগ যুগপৎ সঠিক ভাবে নির্ণয় করা সম্ভব নয়। সঠিকতার সীমা হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি দ্বারা নির্ধারণ করা যায়।

৩) m ভরের কণা X অক্ষ বরাবর v বেগে গতিশীল হলে তার অবস্থানের অনিশ্চয়তা Δx এবং ঐ সময় বেগের অনিশ্চয়তা Δv এর গুণফল অনিশ্চয়তা নীতি অনুসারে $\Delta x . \Delta v \geq \frac{\hbar}{m}$ [যেহেতু $p = mv$]

ভারী কণার ক্ষেত্রে $\frac{\hbar}{m}$ খুবই ক্ষুদ্র। সেক্ষেত্রে Δx এবং Δv এর গুণফলও খুব ক্ষুদ্র হয়ে আসে। তাই এমতাবস্থায় কণা অবস্থান ও v বেগে সঠিকভাবে নিরূপণ করা যায়। খুব ভারী কণার ক্ষেত্রে $\frac{\hbar}{m} = 0$ ফলে অনিশ্চয়তা নীতি আর থাকে না। এটাই হলো চিরায়ত বলাবদ্যার সীমানা। সুতরাং ভারী বস্তুর ক্ষেত্রে চিরায়ত বলবিদ্যা সত্য এবং হালকা বস্তুর (যেমন ইলেকট্রন, প্রোটন, নিউট্রন ইত্যাদি) ক্ষেত্রে কোয়ান্টাম বলবিদ্যা কার্যকর।

৮.১০.৮ : অনিশ্চয়তা নীতি প্রয়োগঃ

অনিশ্চয়তা নীতি প্রয়োগ করে নিউক্লিয়াসের মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

আমরা জানি,

১। তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস থেকে β-রশ্মি নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি প্রায় 4 Mev

২। ইলেকট্রনের স্থির ভর $m_0 = 9.11 \times 10^{-31}$kg

৩। নিউক্লিয়াসের ব্যাস $d = 2 \times 10^{-14}$m

যদি নিউক্লিয়াসের মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রন বিদ্যমান থাকে তবে নিউক্লিয়াসের এই ব্যাসের গোলকের মধ্যে কোথাও না কোথাও অবস্থিত হবে। সুতরাং নিউক্লিয়াসে ইলেকট্রনে অবস্থান জনিত সর্বোচ্চ অনিশ্চয়তা,

$\Delta x = 2 \times 10^{-14} m =$ নিউক্লিয়াসের ব্যাস।

ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগের অনিশ্চয়তার গুণফল, হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তার নীতি থেকে লিখতে পারি,

$$\Delta x \Delta P \geq \hbar \qquad \therefore \Delta P \geq \frac{\hbar}{\Delta x}$$

যেহেতু, $\Delta x =$ ইলেকট্রনে অবস্থান জনিত সর্বোচ্চ অনিশ্চয়তা সেহেতু $\Delta \mathrm{P}$ = ইলেকট্রনে ভরবেগ জনিত সর্বনিম্ন অনিশ্চয়তা।

সুতরাং নিউক্লিয়াসে অবস্থিত ইলেকট্রনের সর্বনি¤œ ভরবেগ জনিত অনিশ্চয়তা,

$$\Delta P = \frac{h}{2\pi \Delta x} = \frac{6.63\times 10^{-34}}{2\pi \times 2\times 10^{-14}} = 5.278\times 10^{-21}\,\text{kgms}^{-1}$$

অর্থাৎ নিউক্লিয়াসে যদি মুক্ত ইলেকট্রন থাকতে হয় তবে তার সর্বনিম্ন ভরবেগ হবে, $P_{\min} = 5.278\times 10^{-21}\,\text{kgms}^{-1}$

অতএব, $E_{\min} = \frac{p_{\min}^2}{2m} = \frac{\left(5.278\times 10^{-21}\right)^2}{2\times 9.1\times 10^{-31}}\,\text{J}$

$$= 1.53062\times 10^{-11}\,\text{J} = \frac{1.53062\times 10^{-11}}{1.6\times 10^{-19}}\,\text{eV}$$

$$= 0.9566375\times 10^{8}\,\text{eV} = 95.66\,\text{MeV}$$

অতএব নিউক্লিয়াসে মুক্ত ইলেকট্রন থাকতে হলে তার সর্বনিম্ন শক্তি 96Mev ক্ষেত্রে এর কাছাকাছি হতে হবে। কিন্তু তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস থেকে β-রশ্মির সর্বোচ্চ গতিশক্তি প্রায় 4Mev | সুতরাং নিউক্লিয়াসে মুক্ত ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

উদাহরণ ৮.১৩: একটি ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $4\times 10^{-7}\,\text{m}$ । এর রৈখিক ভরবেগ কত?

সমাধান: দেয়া আছে, $\lambda = 4\times 10^{-7}\,\text{m}$, $h = 6.63\times 10^{-34}\,\text{Js}$ এবং $p = ?$

আমরা জানি, ফোটনের ভরবেগ, $p = \frac{h}{\lambda}$

মান বসালে, $P = \frac{6.63\times 10^{-34}}{4\times 10^{-7}} = 1.66\times 10^{-27}\,\text{kgms}^{-1}$

উ: $1.66\times 10^{-27}\,\text{kgms}^{-1}$

উদাহরণ ৮.১৪ ঃ একটি ইলেকট্রনের কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য বের করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $h = 6.63\times 10^{-34}\,\text{Js}$, $m_e = 9.1\times 10^{-31}\,\text{kg}$, $c = 3\times 10^{8}\,\text{ms}^{-1}$ এবং $\Delta\lambda = ?$

আমরা জানি, কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c}$

মান বসালে, $\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} = \frac{6.63\times 10^{-34}}{9.1\times 10^{-31}\times 3\times 10^{8}} = 0.0248\,\mathring{A}$

উ: $0.0248\,\mathring{A}$

সার-সংক্ষেপ :

আলোর প্রকৃতি: আলোর কণা ধর্ম এবং তরঙ্গ ধর্ম অর্থাৎ দ্বৈত ধর্ম আছে। হাইজেনবার্গ প্রস্তাব করেন যে আলোর দ্বৈত ধর্ম বিদ্যমান তবে এরা পরস্পরের পরিপূরক। অর্থাৎ একই পরীক্ষায় আলো কখনই তার দ্বৈত ধর্ম প্রকাশ করে না।

পদার্থ তরঙ্গ: তরঙ্গ যেমন কিছু ক্ষেত্রে কণার নায় আচরণ করে কণাও তেমনি কিছু ক্ষেত্রে তরঙ্গের ন্যায় আচরণ করে। কণার এই তরঙ্গকে পদার্থ তরঙ্গ বলে। এই তরঙ্গের সমীকরণ হলো, $\lambda = \frac{h}{mv}$ । এটাই ডি-ব্রগলীর সমীকরণ নামে পরিচিত।

ডি-ব্রগলীর প্রকল্পের সম্পূর্ণ বিবৃতি: যেকোনো কণার স্রোত তরঙ্গের ন্যায় আচরণ করে। যা পদার্থ তরঙ্গ নামে পরিচিত। এই পদার্থ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ ।

কম্পটন ক্রিয়া: একটি একবর্ণী X -রশ্মি অ্যালুমনিয়াম, গ্রাফাইট (কার্বন) প্রভৃতি হালকা মৌলের ইলেকট্রন দ্বারা বিক্ষিপ্ত হলে বিক্ষিপ্ত রশ্মির মধ্যে অপরিবর্তিত তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ছাড়াও পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যে X-রশ্মি পাওয়া যায়। এই পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যগুলি প্রাথমিক X-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যর চেয়ে দীর্ঘতর। বিজ্ঞানী আর্থার কম্পটন এই ঘটনা আবিষ্কার করেন। তাঁর নাম অনুসারে এই ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

হাইজেনবার্গে-এর অনিশ্চয়তা নীতি: হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি অনুসারে আনবিক স্ড়রে কোন গতিশীল কণার ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট দিকে এর অবস্থান ও ভরবেগ যুগপৎ সঠিক ভাবে পরিমাপ করা সম্ভব নয়।
অর্থাৎ, $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৮.১০

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১. বিক্ষেপ কণার কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কোনটি?

ক. $\lambda = \dfrac{h}{P}$ খ. $\lambda = \dfrac{h}{mv}$ গ. $\Delta\lambda = \dfrac{2h}{m_0 c}\sin\dfrac{\phi}{2}$ ঘ. $\Delta\lambda = \dfrac{h}{m_0 c}$

২। নীচের কোনটি হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি **নয়?**

ক. $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$ খ. $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ গ. $\Delta\theta \Delta L \geq \hbar$ ঘ. $\Delta p \Delta t \geq \hbar$

৩। কণার অনুসঙ্গী ডি-ব্রগলীর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কোনটি?

ক. $\lambda = \dfrac{h}{P}$ খ. $\lambda = \dfrac{h}{mv}$ গ. $P = \dfrac{E}{c}$ ঘ. $\Delta\lambda = \dfrac{h}{m_0 c}$

চূড়ান্ড় মূল্যায়ন: ৮

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১. আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতার বিশেষ তথ্যানুসারে v সমবেগে গতিশীল S' প্রসঙ্গ কাঠামোতে আলোর বেগের সাথে S নিশ্চল কাঠামোতে আলোর বেগের সম্পর্ক কোনটি?

ক. $c' = c - v$ খ. $c' = c + v$ গ. $c' = c$ ঘ. $v = c + c'$

২. থিওরী অব রিলেটিভিটি এর প্রবক্তা কে?

ক. আইনস্টাইন খ. নিউটন গ. পণ্ড্যাংক ঘ. ম্যাক্সওয়েল

৩. আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্য-

ক. বিভিন্ন মাধ্যমে আলোর বেগ বিভিন্ন খ. প্রসঙ্গ কাঠামো পরস্পরের সাপেক্ষে ধ্র"ব বেগে গতিশীল
গ. প্রসঙ্গ কাঠামো পরস্পরের সাপেক্ষে ধ্র"ব ত্বরণে গতিশীল
ঘ. শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ পর্যবেক্ষকের উপর নির্ভর করে না

৪. 10kg ভরের একটি বস্তুর আলোর বেগ গতিশীল অবস্থায় ভর কত হবে?

ক. 0 kg খ. 10 kg গ. 20 kg ঘ. $\propto$

৫. কোন বস্তুর গতিশীল অবস্থায় দৈর্ঘ্য, ঐ বস্তুর নিশ্চল অবস্থায় দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট, একে কী বলা হয়?

ক. কাল দীর্ঘায়ন খ. দৈর্ঘ্য দীর্ঘায়ন গ. দৈর্ঘ্য সংকোচন ঘ. ভর সংকোচন

৬. গতিশীল অবস্থায় বস্তুর ভর-

ক. বৃদ্ধি পায় খ.হ্রাস পায় গ. অপরিবর্তিত থাকে ঘ. শূন্য হয়

৭. $E = mc^2$ সূত্রটি কিসের সম্পর্ক প্রকাশ করে?

ক. আলো ও শক্তি খ. ভর ও শক্তি গ. বেগ ও শক্তি ঘ. ভর ও আলো

৮. f কম্পাঙ্কের আপতিত আলোর ক্ষেত্রে ফটো-ইলেক্ট্রনের নিঃসরণের হার কার সমানুপাতিক?

ক. সূচন কম্পাঙ্ক (f_0) খ. আপতিত আলোর তীব্রতা
গ. আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক ঘ. ক্যাথোডের প্রকৃতি

৯. আলোর কণিকা ফোটনের শক্তি-

i. $E = hf$ ii. $E = \dfrac{hc}{\lambda}$ iii. $E = \dfrac{h}{\lambda}$

নিচের কোনটি সঠিক?

ক. ii ও iii খ. iii গ. i ও ii ঘ. i, ii ও iii

১০. কোনো বিজ্ঞানী শক্তির ক্ষুদ্রতম এককের নাম দেন কোয়ান্টাম?

ক. গ্যালিলিও খ. নিউটন গ. ম্যাক্সপণ্যাঙ্ক ঘ. আইনস্টাইন

সৃজনশীল প্রশ্ন:

১। 50kg ভরের একটি ক্ষুদ্র মহাকাশ যানকে মহাশূন্যে উৎক্ষেপণের পর নীল আলো $\left(\lambda = 4700\text{A}^\circ\right)$ নিঃসারণকারী 1000W ক্ষমতার একটি বাতি দিয়ে চালনা করায় পরিকল্পনা করা হলো। বিজ্ঞানীরা হিসাব করে দেখলেন যে, মহাকাশ যানটি মহাশূন্যে $6.66\times10^{-8}\,\text{ms}^{-2}$ ত্বরণে গতিশীল থাকবে, ফলে যানটির বছরে 2ms^{-1} হারে বেগ বৃদ্ধি পাবে।

ক. ফোটন কী?

খ. লাল না বেগুনি বর্ণের ফোটনের শক্তি বেশী? ব্যাখ্যা কর।

গ. 1000W ক্ষমতার নীল বাতি থেকে প্রতি সেকেন্ডে কতগুলো ফোটন নির্গত হবে?

ঘ. উদ্দীপকে উলেণ্খিত ত্বরণের মানের সত্যতা যাচাই কর।

২। অভিকর্ষ মুক্ত স্থানে দুটি পেণ্ট A ও B পরস্পর সমান্ড়রালে রাখা আছে। পেণ্ট A এর কার্যাপেক্ষক 2.825eV। এর উপর 4000Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ আপতিত করা হলো এবং পেণ্ট A এর সাপেক্ষে পেণ্ট B কে নিবৃত্তি বিভবে রাখা হলে।

ক. ডি-ব্রগলীর প্রকল্প বিবৃত কর ন।

খ. কম্পটন ক্রিয়া ও আলোতড়িৎ ক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য লিখুন।

গ. নিবৃত্তি বিভবের মান নির্ণয় কর ন।

ঘ. পেণ্ট A এবং পেণ্ট B এর কাছে ইলেকট্রনের ভরের কোন পার্থক্য হবে কিনা গাণিতিক ভাবে যাচাই কর ন।

সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্ন :

১। আপেক্ষিকতা বা আপেক্ষিক তত্ত্ব বলতে কি বুঝায়?
২। প্রসঙ্গ কাঠামো বলতে কি বুঝায়?
৩। জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলতে কি বুঝায়?
৪। মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষা থেকে কি কি সিদ্ধান্ড়ে উপনীত হওয়া যায়?
৫। বাসের যাত্রী ও সড়কের পাশে দাঁড়ানো পর্যবেক্ষকের নিকট বাস থেকে পড়ন্ড় পাথরের গতিপথ কিরূপ দেখাবে?
৬। বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের স্বীকার্য দুটি লিখুন।
৭। কাল দীর্ঘায়ন কি? এর সমীকরণটি লিখুন।
৮। দৈর্ঘ্য সংকোচন কি? দৈর্ঘ্য সংকোচনের সমীকরণটি লিখুন।
৯। ভরের আপেক্ষিকতা কি বা বলতে কি বুঝায়?
১০। কোন বস্তুর স্থির ভর ও গতিশীল ভরের মধ্যে সম্পর্ক লিখুন।
১১। ভর ও শক্তির সম্পর্কটি সমীকরণের মাধ্যমে লিখুন।
১২। আলোর কোয়ান্টাম তত্ত্ব কি?
১৩। ফোটন কি?
১৪। ফোটনের শক্তির সমীকরণটি লিখুন।
১৫। পণ্যাংকের সমীকরণটি লিখুন।
১৬। ফটোতড়িৎ ক্রিয়া কি?
১৭। ফটোতড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর ন।
১৮। ফটোতড়িৎ কার্যাপেক্ষক কি?
১৯। ফটোইলেকট্রন কি?
২০। সূচন কম্পাঙ্ক কি?
২১। ডি ব্রগলীর প্রকল্প কি?
২২। ডি ব্রগলীর সমীকরণটি লিখুন।
২৩। কম্পটন ক্রিয়া কি?
২৪। আলো তড়িৎ ক্রিয়া ও কম্পটন ক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য কি?
২৫। আলো তড়িৎ ক্রিয়া ও কম্পটন ক্রিয়ার মধ্যে সদৃশতা কি?
২৬। হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি কি?

খ. বিশদ উত্তর প্রশ্ন :

১। আপেক্ষিক তত্ত্ব বলতে কি বোঝায়? আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের স্বীকার্য দুটি বর্ণনা ও ব্যাখ্যা করুন।

২। গ্যালিলীয় রূপান্তর সমীকরণগুলো লিখুন। গ্যালিলীয় রূপান্তরের সীমাবদ্ধতা আলোচনা করুন।

৩। লরেঞ্জ রূপান্তর বিধির সমীকরণগুলো প্রতিপাদন করুন।

৪। সময় বিলম্বন কি? $t=\dfrac{t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ সমীকরণটি প্রতিপাদন ও ব্যাখ্যা করুন।

৫। দৈর্ঘ্য সংকোচন কি? $L=L_0\sqrt{1-v^2/c^2}$ সমীকরণটি প্রতিপাদন করুন।

৬। ভরের আপেক্ষিকতা বলতে কি বুঝ? প্রমাণ করুন যে, $m=\dfrac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ।

৭। ভরের আপেক্ষিকতা হতে প্রামাণ কর, $m=\dfrac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ এবং সেখান থেকে দেখান যে, আলোর দ্রুতির সমান দ্রুতিতে কোন বস্তু গতিশীল হতে পারে না।

৮। বিশেষ আপেক্ষিকতা তত্ত্বের প্ররিপ্রেক্ষিতে ভর শক্তির সম্পর্কটি বের করুন।

৯। ফোটন কি? প্লাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব আলোচনা করুন।

১০। ফটো তড়িৎ ক্রিয়া বা আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শনের একটি পরীক্ষা বর্ণনা করুন।

১১। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার পরীক্ষালব্ধ ফলাফলগুলো আলোচনা করুন।

১২। ফটোতড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে চিরায়ত তত্ত্বের ব্যর্থতা আলোচনা করুন।

১৩। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া সংক্রান্ত আইনস্টাইনের সমীকরণটি লিখুন এবং এর বিভিন্ন পদের ব্যাখ্যা দিন।

১৪। পদার্থ তরঙ্গ বলতে কি বুঝায়? ডি ব্রগলীর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমীকরণ প্রতিপাদন করুন।

১৫। ডি ব্রগলীর সমীকরণ থেকে কিভাবে বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্য প্রতিপাদন করা যায়?

১৬। কম্পটন ক্রিয়া কি? কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্যে সমীকরণ প্রতিপাদন করুন।

১৭। হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি ব্যাখ্যা করুন।

গাণিতিক সমস্যা ঃ

১। একজন মহাশূন্যচারী 30 বছর বয়সে $2.4\times10^8\ \text{ms}^{-1}$ বেগে একটি মহাশূন্যযানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন। পৃথিবীর হিসেবে সে 50 বছর পর ফিরে এলে মহাশূন্যচারীর বয়স তখন কত হবে? (উঃ60 বছর)

২। 50 মিনিটে শেষ করার জন্য একজন শিক্ষক তার ঘড়ি দেখে কোনো এক ছাত্রকে একটি কাজ করতে দিলেন। ছাত্র এবং শিক্ষক $9.8\times10^7\ \text{ms}^{-1}$ আপেক্ষিক বেগে গতিশীল আছে। যখন শিক্ষক সময় শেষ হওয়ার সংকেত দিলেন, তখন ছাত্রের নিকট শিক্ষকের ঘড়ির সময় কত অতিক্রান্ত মনে হয়েছিল? (উঃ 52.9 মিনিট)

৩। কোনো কাল্পনিক ট্রেন কত বেগে চললে এর চলমান দৈর্ঘ্য নিশ্চল দৈর্ঘ্যের এক-তৃতীয়াংশ হবে ?
(উঃ $2.828\times10^8\ \text{ms}^{-1}$)

৪। $0.6c$ দ্রুতিতে চলমান একটি কাল্পনিক ট্রেন কোনো ছোট স্টেশনের প্ল্যাটফরম অতিক্রম করে গেল। প্ল্যাটফরমে দাঁড়ানো একজন যাত্রী চলমান ট্রেনের দৈর্ঘ্য মাপল 200 m যা প্ল্যাটফরমের দৈর্ঘ্যের সমান। (i) ট্রেনের নিশ্চলদৈর্ঘ্য কত? (ii) ট্রেনের কোনো যাত্রী প্ল্যাটফরমের দৈর্ঘ্য কত মাপবে? (উঃ (i) 250 m (ii) 160 m)

৫। একটি বস্তু কণার ভর 9.1×10^{-28} kg। এর পুরোটাই শক্তিতে রূপান্তরিত করা হলে কি পরিমাণ শক্তি পাওয়া যাবে ? (আলোর দ্রুতি $c=3\times10^8\ \text{ms}^{-1}$) (উঃ 8.19×10^{-11} J)

৬। 1.6×10^5 eV গতিশক্তি সম্পন্ন ইলেকট্রনের ভর কত? (উঃ 11.6×10^{-31} kg)

৭। একটি গতিশীল কণার মোট শক্তি এর স্থিরাবস্থার শক্তির 1.5 গুণ হলে বস্তুটির দ্রুতি কত?
(উঃ $2.236\times10^8\ \text{ms}^{-1}$)

৮। 4 kg ভরের সমতুল্য শক্তি নির্ণয় করুন। (উঃ 3.6×10^{17} J)

৯। 1 gm ভরের তুল্য শক্তির পরিমাণ জুলে কত হবে ? (উঃ 9×10^{13} J)

১০। 1 gm ভরের সমতুল্য শক্তির পরিমাণ MeV তে নির্ণয় করুন। (উঃ 5.625×10^{26} MeV)

১১। 5 gm ভরের তুল্য শক্তির পরিমাণ জুলে কত হবে ? (উঃ 4.5×10^{14} J)

১২। একটি ফোটনের শক্তি 1.77 eV, ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করুন। (উঃ 6.67×10^{8} m)

১৩। 3000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের শক্তি নির্ণয় করুন। (উঃ 4.14 eV (প্রায়)

১৪। কোন ধাতুর ফটো ইলেকট্রন নিঃসরণের সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5000 Å হলে এর কার্যাপেক্ষক নির্ণয় করুন। (উঃ 2.48 eV)

১৫। প্লাটিনামের কার্যাপেক্ষক 6.31 eV হলে এর সূচন কম্পাঙ্ক কত? (উঃ 1.524×10^{15} Hz)

১৬। প্লাটিনামের কার্যাপেক্ষক 6.2 eV হলে এর সূচন কম্পাঙ্ক কত? দেয়া আছে, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js। (উঃ 1.5×10^{15} Hz)

১৭। 6.633×10^{-7} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের শক্তি নির্ণয় করুন। $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js। (উঃ 1.875 eV)

১৮। কোন ধাতুর উপর 2500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুণী রশ্মি ফেলা হল। ধাতুটির কার্যাপেক্ষক 2.3 eV হলে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ নির্ণয় করুন। (উঃ 9.56×10^{5} ms^{-1})

১৯। 5000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো কোন ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হলে নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি 0.5 eV। ঐ ধাতুর কার্যাপেক্ষক নির্ণয় করুন। (উঃ 1.986 eV)

২০। কোনো একটি ধাতু হতে ইলেকট্রন মুক্ত করতে 2.2 eV শক্তির প্রয়োজন। ঐ ধাতুর উপর 6800 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো পতিত হলে কোনো ইলেকট্রন মুক্ত হবে কি ? এখানে, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js এবং $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ J। (উঃ কোন ইলেকট্রন নির্গত হবে না)

২১। 10 kV বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে স্থির অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন যে চূড়ান্ত বেগ প্রাপ্ত হবে তার মান নির্ণয় করুন। (উঃ 5.93×10^{7} ms^{-1})

উত্তরমালা

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

পাঠ ৮.১	১গ	২খ	
পাঠ ৮.২	১খ	২গ	
পাঠ ৮.৩	১খ	২খ	
পাঠ ৮.৪	১গ	২ক	
পাঠ ৮.৫	১খ	২ক	
পাঠ ৮.৬	১ক	২ক	
পাঠ ৮.৭	১ঘ	২ঘ	
পাঠ ৮.৮	১ঘ	১ক	
পাঠ ৮.৯	১গ	২ক	
পাঠ ৮.১০	১ঘ	২ঘ	৩ক

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

১গ ২ক ৩ঘ ৪ঘ ৫গ ৬ক ৭খ ৮খ ৯গ ১০গ