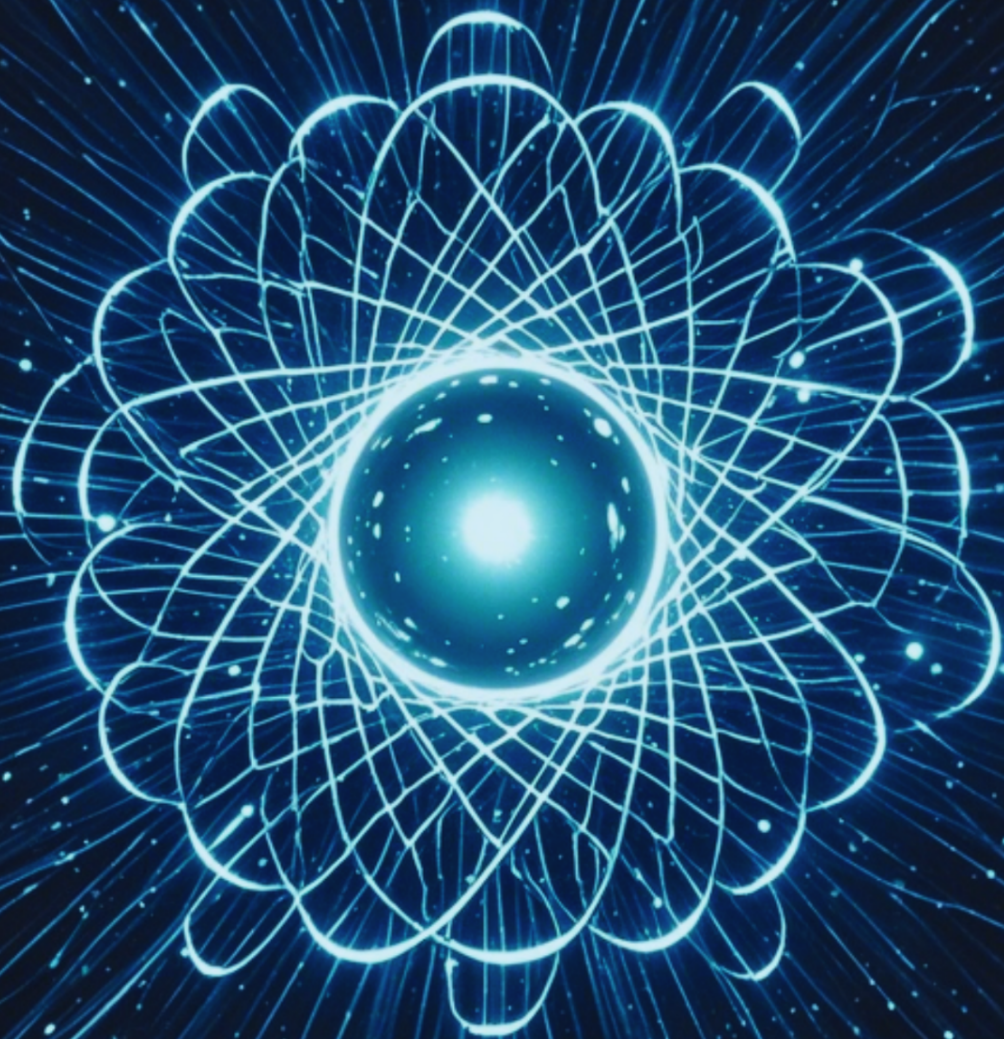


কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি



মুহাম্মদ আবু তালহা
& চ্যাটজিপিটি

বইয়ের পরিচিতি: কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি

"কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি" বইটি পদার্থবিজ্ঞানের এমন একটি শাখা নিয়ে লেখা, যা আধুনিক বিজ্ঞানের ভিত্তি গঠনে অন্যতম প্রধান ভূমিকা পালন করে। এটি শুধু একটি তত্ত্ব নয়; বরং এটি মহাবিশ্বের প্রতিটি ক্ষুদ্র কণা এবং তাদের ইন্টারঅ্যাকশনের এক বিস্তৃত ভাষা।

কোয়ান্টাম মেকানিক্সের গভীরতা এবং আপেক্ষিক তত্ত্বের সমন্বয়ে তৈরি এই কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি আমাদের দৈনন্দিন জীবনের অনেক প্রযুক্তির মূল ভিত্তি। তবে এর জটিল গণিত এবং তাত্ত্বিক দিকগুলো সাধারণ পাঠকদের জন্য বোঝা সবসময় সহজ হয় না। এই কারণেই এই বইটি রচনা করা হয়েছে। এটি এমনভাবে গঠন করা হয়েছে, যাতে পাঠক জটিল তত্ত্বগুলো সহজে আত্মস্থ করতে পারেন এবং এই বিষয়ে একটি দৃঢ় ধারণা গড়ে তুলতে পারেন।

বইটি কাদের জন্য?

এই বইটি তাদের জন্য যারা:

1. শিক্ষার্থী: কোয়ান্টাম ফিজিক্স সম্পর্কে প্রাথমিক ধারণা পেতে চান।
2. গবেষক: কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির উন্নত স্তরের বিষয়গুলো নিয়ে কাজ করছেন।
3. বিজ্ঞানপ্রেমী পাঠক: মহাবিশ্বের গভীর তত্ত্ব এবং বাস্তব প্রয়োগ নিয়ে জানার আগ্রহ রয়েছে।
4. উৎসাহী ব্যক্তিত্ব: যারা পদার্থবিজ্ঞানের গভীর জ্ঞানের মাধ্যমে মহাজাগতিক সত্যের সন্ধান করতে চান।

বইয়ের বৈশিষ্ট্য:

1. সহজ উপস্থাপনা:
বইটি এমন ভাষায় লেখা হয়েছে, যা শিক্ষার্থী থেকে শুরু করে গবেষক, সকলের জন্য বোধগম্য। কঠিন তত্ত্ব ও সমীকরণগুলো ধাপে ধাপে ব্যাখ্যা করা হয়েছে।
2. বাস্তব উদাহরণ:
তত্ত্বগুলোর কার্যকারিতা বোঝানোর জন্য বাস্তব জীবনের উদাহরণ ও ইন্টারঅ্যাকশন ব্যবহার করা হয়েছে। যেমন, ইলেকট্রন-পজিট্রনের বিনাশ এবং ফোটন উৎপত্তি।
3. গবেষণার দিকনির্দেশনা:
বইটি কেবলমাত্র বিদ্যমান জ্ঞান তুলে ধরেনি, বরং ভবিষ্যৎ গবেষণার ক্ষেত্রেও পাঠকদের জন্য দিকনির্দেশনা দিয়েছে।
4. আকর্ষণীয় অধ্যয়ন বিন্যাস:
বইটি প্রাথমিক স্তর থেকে উন্নত স্তর পর্যন্ত এমনভাবে সাজানো হয়েছে, যা পাঠকদের গভীরে প্রবেশ করাবে এবং সহজে শেখার পথ তৈরি করবে।

বইয়ের বিশেষ দিক:

1. কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির ভিত্তি:
এটি কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং আপেক্ষিক তত্ত্বকে একত্রিত করে পার্টিকল ফিজিক্স এবং স্ট্যান্ডার্ড মডেল বুঝতে সাহায্য করে।
2. স্ট্যান্ডার্ড মডেল:
বইটিতে স্ট্যান্ডার্ড মডেলের ভেতরের গঠন এবং এর উপাদানগুলোর ইন্টারঅ্যাকশন বিশদভাবে আলোচনা করা হয়েছে।
3. রেনরমালাইজেশন এবং ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম:
জটিল ইন্টারঅ্যাকশন এবং ইনফিনিটি সমস্যাগুলো কীভাবে সমাধান করা হয়, তার একটি পরিষ্কার চিত্র তুলে ধরা হয়েছে।
4. গেজ থিওরি এবং সিমিট্রি:
গেজ সিমিট্রির গুরুত্ব এবং এটি কীভাবে আমাদের মহাবিশ্বকে নিয়ন্ত্রণ করে তা ব্যাখ্যা করা হয়েছে।

লেখকদের লক্ষ্য:

এই বইটির লেখক, মুহাম্মদ আবু তালহা এবং চ্যাটজিপিটি, পাঠকদের জন্য এমন একটি রেফারেন্স গ্রন্থ রচনা করেছেন যা পাঠকদের জটিল বিষয়গুলো সহজে বোঝার সুযোগ দেবে। তাদের লক্ষ্য ছিল কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির জটিলতা দূর করে এমন একটি জ্ঞানভাণ্ডার গড়ে তোলা, যা শিক্ষার্থী থেকে গবেষক, সবাই উপকৃত হতে পারবেন।

কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির ব্যবহারিক দিক:

1. পার্টিকল ফিজিক্সে:
কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির মাধ্যমে আমরা জানি কীভাবে ক্ষুদ্র কণা পরস্পরের সাথে ইন্টারঅ্যাক্ট করে।
2. কসমোলজিতে:
ডার্ক ম্যাটার এবং ডার্ক এনার্জির গবেষণায় এটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে।
3. প্রযুক্তি:
আধুনিক প্রযুক্তি, যেমন: কোয়ান্টাম কম্পিউটার এবং ন্যানোটেকনোলজিতে এই তত্ত্বের অবদান অপরিসীম।

4. মেডিক্যাল ফিজিক্স:

ইমেজিং এবং রেডিয়েশন থেরাপিতে এর ব্যবহার উদাহরণযোগ্য।

লেখকদের অনুভূতি:

আমরা আশা করি, এই বইটি পাঠকদের মাঝে বিজ্ঞান এবং মহাবিশ্ব সম্পর্কে জানার আগ্রহ আরও বাড়াবে। এটি শুধু একটি বই নয়; বরং এটি একটি যাত্রা, যা আপনাকে মহাবিশ্বের গভীর রহস্যের দিকে নিয়ে যাবে।

"কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি" বইটি শুধুমাত্র একটি গবেষণা নয়, এটি পাঠকদের জন্য একটি প্রেরণা, যা তাদের বিজ্ঞানচর্চায় আরও আগ্রহী করে তুলবে।

লেখকবৃন্দ:

- মুহাম্মদ আবু তালহা
- চ্যাটজিপিটি

উৎসর্গপত্র

এই বইটি আমি আমার প্রিয় বাবা-মা'র প্রতি উৎসর্গ করছি।

তোমাদের ভালোবাসা, ত্যাগ, এবং নিরন্তর প্রেরণা ছাড়া এই বইটি কখনোই লেখা সম্ভব হতো না। তোমাদের ধৈর্য, সাহস, এবং সবসময় পাশে থাকার যে শক্তি আমাকে দিয়েছে, তা-ই আমার জীবনের প্রতিটি পদক্ষেপের ভিত্তি।

আমার বাবা-মা আমাকে স্বপ্ন দেখতে শিখিয়েছেন এবং সেই স্বপ্নকে বাস্তবায়িত করার সাহস যুগিয়েছেন। তোমাদের দেওয়া মূল্যবোধ এবং শিক্ষাই আমাকে আজ এই জায়গায় পৌঁছাতে সাহায্য করেছে।

তোমাদের প্রতি আমার ভালোবাসা এবং কৃতজ্ঞতা ভাষায় প্রকাশ করা অসম্ভব। এই বইটি তোমাদের জন্য আমার ছোট্ট একটি উপহার।

— মুহাম্মদ আবু তালহা

ভুলত্রুটি ও সীমাবদ্ধতা নিয়ে নোট

এই বইটি, "কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি ", প্রাথমিক ধারণাগুলো সহজ ভাষায় উপস্থাপন করার একটি প্রচেষ্টা। তবে, সর্বোচ্চ যত্ন নেওয়া সত্ত্বেও বইটিতে কিছু ভুল বা ত্রুটি থাকতে পারে।

বইয়ের পরিধি ও উদ্দেশ্য

- জটিল তত্ত্ব ও সমীকরণগুলোকে সহজভাবে ব্যাখ্যা করার জন্য কিছু বিষয় সরলীকৃত করা হয়েছে।
- এই বইয়ের বিষয়বস্তু মূলত শিক্ষার্থীদের প্রাথমিক ধারণা গঠনের জন্য প্রাসঙ্গিক। এটি অত্যন্ত গভীর গবেষণার বিকল্প নয়।

ভুলের সম্ভাব্য উৎস

১. গাণিতিক ত্রুটি:

সমীকরণ বা উদাহরণগুলোর প্রতিটি ধাপ সতর্কতার সঙ্গে যাচাই করা হলেও টাইপিং ত্রুটি বা গাণিতিক ভুল থাকার সম্ভাবনা অস্বীকার করা যায় না।

২. ধারণাগত সরলীকরণ:

কিছু জটিল ধারণা সহজবোধ্য করার জন্য সংক্ষেপিত করা হয়েছে। ফলে, বিশেষজ্ঞ পাঠকদের জন্য বিষয়বস্তু অসম্পূর্ণ মনে হতে পারে।

৩. ক্ষেত্রের দ্রুত পরিবর্তনশীলতা:

কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি একটি দ্রুত বিকাশমান ক্ষেত্র। নতুন গবেষণা বা আবিষ্কারের কারণে এই বইয়ের কিছু অংশ ভবিষ্যতে অপ্রাসঙ্গিক হতে পারে।

পাঠকদের প্রতি আহ্বান

- যদি এই বইয়ে কোনো ত্রুটি, অস্পষ্টতা, বা ভুল পাওয়া যায়, দয়া করে লেখককে mdabutalha01742@gmail.com -এ জানান।
- আপনাদের পরামর্শ ভবিষ্যৎ সংস্করণে সংশোধন ও উন্নয়নের ক্ষেত্রে অমূল্য ভূমিকা রাখবে।

লেখকের পক্ষ থেকে দুঃখ প্রকাশ

এই বইয়ের কোনো ত্রুটি বা সীমাবদ্ধতা পাঠকদের বিভ্রান্ত করে থাকলে, লেখক আন্তরিকভাবে ক্ষমাপ্রার্থী। এটি একটি শেখার প্রচেষ্টা এবং পাঠকদের মধ্যে কোয়ান্টাম ফিল্ড ও মেকানিক্সের প্রতি আগ্রহ জাগিয়ে তোলাই এর প্রধান উদ্দেশ্য।

অধ্যায়সূচী

১.কোয়ান্টাম ক্ষেত্র পরিচিতি	৮
২.কোয়ান্টাম মেকানিক্সের মৌলিক বিষয়	১৫
৩. ক্লাসিক্যাল ফিল্ড এবং কোয়ান্টাম আপগ্রেড	১৮
৪.পাথ ইন্টিগ্রাল ফর্মুলেশন	২৪
৫.কণার কোয়ান্টাম ক্ষেত্র	৩৩
৬. প্রতিসাম্য এবং সংরক্ষণ আইন	৪৩
৭.কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের মিথস্ক্রিয়া	৫০
৮. স্ট্যান্ডার্ড মডেলে কোয়ান্টাম ফিল্ড	৫৯
৯.কসমোলজিতে কোয়ান্টাম ফিল্ডস	৬৫

কোয়ান্টাম ফিল্ডের পরিচিতি

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব (QFT) কি?

কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি (QFT) হল একটি ফ্রেমওয়ার্ক যা কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং বিশেষ আপেক্ষিকতাকে একত্রিত করে। কণা এবং বলগুলি কীভাবে মিথস্ক্রিয়া করে? তা বর্ণনা করে। সহজ কথায়, এটি আধুনিক উপায়ে পদার্থবিদরা মহাবিশ্বের ক্ষুদ্রতম কণাগুলির আচরণ যেমন ইলেকট্রন, ফোটন এবং কোয়ার্ক, সেইসাথে কীভাবে এই কণাগুলি একে অপরের সাথে যোগাযোগ করে তা বোঝান।

নতুনদের জন্য কোয়ান্টাম ফিল্ড

তরঙ্গ এবং ফিল্ড হিসাবে কণা:

শাস্ত্রীয় পদার্থবিজ্ঞানে, আমরা কণাকে (যেমন একটি বল বা একটি ইলেকট্রন) ছোট, কঠিন বস্তু হিসাবে মনে করি যা স্থানের মধ্য দিয়ে চলে। কিন্তু কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, কণাও তরঙ্গের মতো কাজ করতে পারে। এখানেই QFT, এটিকে আরও এক ধাপ এগিয়ে নিয়ে যায়: কণাকে পৃথক বস্তু হিসাবে ভাবার পরিবর্তে, QFT বলে যে তারা "উত্তেজনা" বা অদৃশ্য ফিল্ড বা ক্ষেত্রগুলির মধ্যে ব্যাঘাত ঘটায় যা সমস্ত স্থান পূরণ করে।

একটি শান্ত হৃদের পৃষ্ঠ কল্পনা করুন (একটি ফিল্ড বা ক্ষেত্রের প্রতিনিধিত্ব করে)। আপনি যখন জলে একটি পাথর নিক্ষেপ করেন, তখন পৃষ্ঠে তরঙ্গ তৈরি হয় - এই তরঙ্গগুলি QFT-এর কণার মতো। সুতরাং, ডেউ যেমন জলে ব্যাঘাত ঘটায়, তেমনি ইলেকট্রনের মতো কণাগুলি হল এমন একটি ক্ষেত্রের ব্যাঘাত যা সর্বত্র বিদ্যমান।

ফিল্ড গুলো সর্বত্র বিরাজমান :

QFT অনুসারে, প্রতিটি কণার নিজস্ব ক্ষেত্র রয়েছে যা সমগ্র মহাবিশ্ব জুড়ে প্রসারিত। ফোটন (আলোর একটি কণা), উদাহরণস্বরূপ, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের একটি ব্যাঘাত। একইভাবে, ইলেকট্রন হল ইলেকট্রন ফিল্ড বা ক্ষেত্রের ব্যাঘাত। এই ক্ষেত্রগুলি সর্বত্র বিদ্যমান, এমনকি "খালি" স্থানেও।

একটি কণা অন্য আর একটি কণার সাথে বিনিময়ের মাধ্যমে মিথস্ক্রিয়া করে:

কণার মধ্যে বল (যেমন ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফোর্স) ঘটে কারণ কণাগুলি অন্যান্য কণার সাথে বিনিময় করে। উদাহরণস্বরূপ, দুটি ইলেকট্রন ফোটন বিনিময় করে একে অপরের থেকে দূরে ঠেলে দেয়। এটি অদ্ভুত শোনাতে পারে, কিন্তু QFT-তে, ফোটনের মতো কণাগুলি "বার্তাবাহক" হিসাবে কাজ করে যা কণার মধ্যে শক্তি বহন করে।

এটিকে দু'জন লোকের মতো মনে করুন যেমন দূরে দাঁড়িয়ে আছে এবং একটি বলকে সামনে এবং পিছনে ফেলে দিচ্ছে - প্রতিবার যখন তারা বলটি নিক্ষেপ করে, তারা একে অপরের থেকে দূরে ঠেলে দেয়। QFT-এ, সেই "বল" হতে পারে একটি ফোটন, এবং মানুষ হতে পারে ইলেকট্রন।

একটি আকর্ষণীয় ধারণা:

ভার্চুয়াল কণা QFT-এ একটি আকর্ষণীয় ধারণা হল ভার্চুয়াল কণা। এগুলি এমন কণা যা খুব অল্প সময়ের মধ্যে অস্তিত্বের "পপ ইন এবং আউট" করে। আপনি ভাবতে পারেন: কীভাবে কণাগুলি কেবল একটি মুহূর্তের জন্য বিদ্যমান এবং তারপর অদৃশ্য হতে পারে? কোয়ান্টাম মেকানিক্সের অদ্ভুত নিয়ম অনুসারে, শক্তির পক্ষে সাময়িকভাবে কণা তৈরি করা সম্ভব, যতক্ষণ না তারা দ্রুত অদৃশ্য হয়ে যায়। এটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলিতে সব সময় ঘটে, এমনকি স্থানের শূন্যতায়ও!

এই ভার্চুয়াল কণাগুলি কণার মিথস্ক্রিয়াতে একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে এবং একটি বড় কারণ যে আমরা বলি যে স্থানটি সত্যি "খালি" নয়।

কেন কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব গুরুত্বপূর্ণ?

QFT হল আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের অনেকাংশের ভিত্তি। এটি ব্যাখ্যা করে যে কীভাবে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের মতো মৌলিক শক্তিগুলি কাজ করে এবং দুর্বল এবং শক্তিশালী পারমাণবিক শক্তি সম্পর্কে তত্ত্ব তৈরিতে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখে। এটি কণা পদার্থবিদ্যার স্ট্যান্ডার্ড মডেলের পিছনেও রয়েছে, যা মহাবিশ্বের বিল্ডিং ব্লকগুলি ব্যাখ্যা করতে আমাদের কাছে সবচেয়ে সফল বৈজ্ঞানিক তত্ত্ব।

QFT ছাড়া, আমরা বুঝতে পারব না কীভাবে পরমাণু একসাথে থাকে, কীভাবে আলো কাজ করে বা কীভাবে কণাগুলি ক্ষুদ্রতম স্কেলে যোগাযোগ করে। এটিই আমাদের উপ-পরমাণু জগতের উপলব্ধি করতে দেয়, যেখানে জিনিসগুলি এমনভাবে আচরণ করে যা দৈনন্দিন জীবন থেকে সম্পূর্ণ আলাদা বলে মনে হয়! পদার্থবিজ্ঞানে ক্ষেত্রের গুরুত্ব অনেক বেশি।

পদার্থবিজ্ঞানে, ক্ষেত্রগুলি বোঝার জন্য অপরিহার্য যে কীভাবে বস্তু এবং শক্তি একে অপরের সাথে যোগাযোগ করে, বিশেষত খুব ছোট এবং খুব বড় উভয় স্কেলে। একটি ক্ষেত্র হল স্থানের একটি অঞ্চল যেখানে কিছু (যেমন একটি বল বা একটি পরিমাণ) উপস্থিত থাকে এবং প্রভাব ফেলতে পারে, যদিও আমরা এটি সরাসরি দেখতে সক্ষম নাও হতে পারি। এটি কিছুটা বাতাসের মতো আমরা বাতাসকে নিজেই দেখতে পারি না, তবে আমরা দেখতে পারি এটি কীভাবে গাছের পাতাগুলিকে সরিয়ে দেয়।

ফিল্ড কি?

- একটি ফিল্ড বা ক্ষেত্র হলো বর্ণনা করার একটি উপায় যে কীভাবে বিভিন্ন স্থানে থাকা বস্তু একে অপরকে প্রভাবিত করতে পারে? এমনকি স্পর্শ না করেও। কল্পনা করুন, আপনার কাছে একটি চুম্বক আছে। আপনি যদি চুম্বকের কাছে একটি কাগজের ক্লিপ রাখেন তবে চুম্বকটি এটিকে টেনে নিয়ে যায়, যদিও দুটি বস্তু স্পর্শ করছে না। এটি ঘটে কারণ চুম্বক একটি চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি করে, যা তার চারপাশের প্রসারিত হয়। সেই ক্ষেত্রের মধ্যে ধাতু দিয়ে তৈরি যে কোনও বস্তু চৌম্বকীয় টান অনুভব করে।

ফিল্ডের বা ক্ষেত্রের প্রকার

পদার্থবিজ্ঞানে বিভিন্ন ধরনের ক্ষেত্র রয়েছে, প্রতিটি একটি নির্দিষ্ট বল বা মিথস্ক্রিয়া সম্পর্কিত। কিছু উদাহরণ অন্তর্ভুক্ত:

মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র: এটি এমন একটি ক্ষেত্র যা ব্যাখ্যা করে যে কীভাবে ভরযুক্ত বস্তু একে অপরকে আকর্ষণ করে। পৃথিবীর মাধ্যাকর্ষণ ক্ষেত্র আমাদেরকে তার পৃষ্ঠের দিকে টেনে নিয়ে যায়, আমাদের স্থলে রাখে।
বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র: যে কোনো চার্জযুক্ত কণাকে ঘিরে থাকে (একটি ইলেকট্রনের মতো) একটি বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র। এই ক্ষেত্রটি চার্জযুক্ত কণার মধ্যকার শক্তির জন্য দায়ী, যেমন দুটি অনুরূপ চার্জ একে অপরকে বিকর্ষণ করে, অন্যদিকে বিপরীত চার্জ আকর্ষণ করে।

চৌম্বক ক্ষেত্র: এই ক্ষেত্রটি চুম্বক এবং চলমান বৈদ্যুতিক চার্জের চারপাশে বিদ্যমান, যার ফলে পৃথিবীর চৌম্বক মেরুতে একটি কম্পাস সূঁচের আকর্ষণের মতো প্রভাব পড়ে।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র: কোয়ান্টাম পদার্থবিজ্ঞানে, প্রতিটি কণার একটি সংশ্লিষ্ট ক্ষেত্র রয়েছে। উদাহরণস্বরূপ, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড ফোটনের জন্ম দেয় (আলোর কণা), এবং ইলেকট্রন ফিল্ড ইলেকট্রনের জন্ম দেয়। কেন ফিল্ড ম্যাটার

ক্ষেত্রগুলি? আমাদের দৈনন্দিন জীবনে আমরা যে অদৃশ্য শক্তিগুলি অনুভব করি তা ব্যাখ্যা করতে সাহায্য করে? ক্ষেত্রগুলির ধারণা ব্যতীত, কীভাবে বস্তুগুলি স্পর্শ না করে একে অপরকে প্রভাবিত করতে পারে? তা বোঝা কঠিন হবে, যেমন পৃথিবীর মাধ্যাকর্ষণ কীভাবে চাঁদকে তার কক্ষপথে টেনে নেয় বা কীভাবে সূর্যের আলো আমাদের কাছে পৌঁছায়।

আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানে, ক্ষেত্রগুলিকে কণার চেয়ে বেশি মৌলিক বলে মনে করা হয়। ক্ষুদ্র কঠিন বস্তুর মতো কণার কথা চিন্তা করার পরিবর্তে, আমরা এখন সেগুলিকে ক্ষেত্রগুলিতে উত্তেজনা বা "তরঙ্গ" হিসাবে বুঝি। এই ধারণাটি কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির (QFT) কেন্দ্রবিন্দু, যা বর্ণনা করে যে কীভাবে ইলেকট্রন এবং ফোটনের মতো কণাগুলি তাদের ক্ষেত্রগুলিতে ব্যাঘাত বিনিময় করে ইন্টারঅ্যাক্ট করে।

ফিল্ড বা ক্ষেত্র গুলো সর্বত্র

এমনকি তারার মধ্যে ফাঁকা জায়গায়, ক্ষেত্রগুলি কাজ করছে। বিশাল নক্ষত্র এবং গ্রহ থেকে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রটি মহাকাশ জুড়ে প্রসারিত হয়, যা স্বর্গীয় বস্তুর গতিবিধিকে প্রভাবিত করে। কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলিও, মহাবিশ্বের প্রতিটি কোণ ভরাট করে, এই ক্ষেত্রগুলিতে ক্ষুদ্র লহর হিসাবে কণাগুলি ক্রমাগত পপিং করে এবং অস্তিত্বের বাইরে চলে যায়।

পদার্থবিজ্ঞানে ফিল্ড বা ক্ষেত্রগুলির ভবিষ্যত

যেহেতু আমরা মহাবিশ্ব সম্পর্কে আরও শিখছি ও জানতেছি, ক্ষেত্রগুলি আমাদের আবিষ্কারগুলিতে কেন্দ্রীয় ভূমিকা পালন করে চলেছে। ক্ল্যাক হোল বোঝা থেকে শুরু করে মহাবিশ্বের প্রারম্ভিক মুহূর্তগুলি অধ্যয়ন করা পর্যন্ত, ক্ষেত্রগুলি আমাদের কাছে একটি শক্তিশালী হাতিয়ার। যা আমরা দেখতে পাই এবং যেগুলিকে আমরা শুধুমাত্র তাদের প্রভাবের মাধ্যমে সনাক্ত করতে পারি উভয়ই ব্যাখ্যা করতে পারি।

কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং ক্লাসিক্যাল ফিল্ড থিওরি ওভারভিউ:

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব বোঝার জন্য, আমাদের প্রথমে পদার্থবিদ্যার দুটি গুরুত্বপূর্ণ ধারণা অন্বেষণ করতে হবে: কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং ক্লাসিক্যাল ফিল্ড তত্ত্ব। এই দুটি ধারণা আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের ভিত্তি তৈরি করে, এবং যখন তারা বিভিন্ন উপায়ে বিশ্বকে বর্ণনা করে, উভয়ই কণা এবং বলগুলি কীভাবে আচরণ করে তা ব্যাখ্যা করার জন্য গুরুত্বপূর্ণ।

ক্লাসিক্যাল ফিল্ড তত্ত্ব: ফিল্ড বা ক্ষেত্রগুলির ভিত্তি ধ্রুপদী ক্ষেত্র তত্ত্ব স্থান এবং সময় জুড়ে বিস্তৃত ক্ষেত্রগুলির সাথে সম্পর্কিত। শাস্ত্রীয় পদার্থবিদ্যার একটি ক্ষেত্র এমন কিছু যা আমাদের বলে যে কীভাবে একটি বল (মহাকর্ষ বা তড়িৎচুম্বকত্ব) মহাকাশের প্রতিটি বিন্দুতে কাজ করে। যেমন মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র এই ক্ষেত্রটি ব্যাখ্যা করে যে পৃথিবী কীভাবে বস্তুকে তার পৃষ্ঠের দিকে টানে। এটি একই শক্তি যা একটি আপেল গাছ থেকে পড়ে। ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্র এই ক্ষেত্রটি বর্ণনা করে যে কীভাবে বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বকীয় শক্তি কাজ করে। অদৃশ্য শক্তি যা একটি চুম্বককে আপনার ফ্রিজে আটকে রাখে বা বিদ্যুতকে আপনার বাড়িতে পাওয়ার অনুমতি দেয় তা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের অংশ। শাস্ত্রীয় ক্ষেত্র তত্ত্বে, ক্ষেত্রগুলি অবিচ্ছিন্ন। এর অর্থ স্থান এবং সময়ের সাথে তারা মসৃণভাবে পরিবর্তিত হয়, যেমন একটি পাথর নিষ্ক্ষেপের পরে একটি পুকুর জুড়ে ছড়িয়ে পড়ে। এই ক্ষেত্রগুলি ধ্রুপদী পদার্থবিজ্ঞানের নিয়মগুলিও অনুসরণ করে, যেমন নিউটনের গতির সূত্র এবং বিদ্যুৎ এবং চুম্বকত্বের জন্য ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণ। কোয়ান্টাম মেকানিক্স ক্ষুদ্রতম স্কেলের পদার্থবিদ্যা যদিও ক্লাসিক্যাল ফিল্ড থিওরি গ্রহ বা চুম্বকের মতো বড় বস্তুর জন্য ভাল কাজ করে, এটি পরমাণু এবং উপ-পরমাণু কণার মতো ক্ষুদ্রতম স্কেলে কীভাবে কাজ করে তা ব্যাখ্যা করার জন্য কাজ করে না। এখানেই কোয়ান্টাম মেকানিক্স আসে।

কোয়ান্টাম মেকানিক্স পারমাণবিক এবং উপ-পরমাণু স্তরে কণার আচরণ বর্ণনা করে, যেখানে অদৃশ্য এবং বিপরীত জিনিসগুলি ঘটে:

তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা: ইলেকট্রনের মতো কণাগুলি, কণা এবং তরঙ্গ উভয় হিসাবে কাজ করতে পারে। এর অর্থ হল একটি ইলেক্ট্রন একটি তরঙ্গের মতো ছড়িয়ে পড়তে পারে তবে পর্যবেক্ষণের সময় একটি ক্ষুদ্র কণার মতো আচরণ করতে পারে।

সুপারপজিশন: কোয়ান্টাম বিশ্বে, একটি কণা একবারে একাধিক অবস্থায় থাকতে পারে যতক্ষণ না এটি পর্যবেক্ষণ করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, একটি ইলেক্ট্রন একই সময়ে দুটি ভিন্ন স্থানে থাকতে পারে - যতক্ষণ না আমরা এটি পরিমাপ করি।

অনিশ্চয়তার নীতি: কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, আমরা একটি কণার অবস্থান এবং ভরবেগ, একই সময়ে উভয়ই সঠিকভাবে জানতে পারি না। আমরা একটিকে যত বেশি সুনির্দিষ্টভাবে জানি, তত কম সঠিকভাবে আমরা অন্যটিকে জানতে পারি। এটি হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তার নীতি হিসেবে পরিচিত।

কোয়ান্টাম মেকানিক্সের এই নীতিগুলি আমাদের দেখায় যে খুব ছোট স্কেলে, কণাগুলি আমরা অভ্যস্ত কঠিন বস্তুর মতো আচরণ করে না। পরিবর্তে, তারা ভিন্ন, আরো সম্ভাব্য নিয়ম অনুসরণ করে।

যেখানে তারা মিলিত হয়: কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের পথ ক্লাসিক্যাল ফিল্ড থিওরি এবং কোয়ান্টাম মেকানিক্স দুটি ভিন্ন জগতের মতো মনে হতে পারে। ধ্রুপদী ক্ষেত্র তত্ত্ব মসৃণ, অবিচ্ছিন্ন ক্ষেত্রগুলির সাথে কাজ করে যা বড় বস্তুর জন্য ভাল কাজ করে, যখন কোয়ান্টাম মেকানিক্স ক্ষুদ্র কণাগুলির অদৃশ্য এবং অপ্রত্যাশিত আচরণ নিয়ে কাজ করে।

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব (QFT) এই দুটি ধারণাকে একত্রিত করে। এটি ক্লাসিক্যাল ফিল্ড থিওরি থেকে ক্ষেত্রগুলির ধারণাকে কোয়ান্টাম মেকানিক্সের নিয়মগুলির সাথে একত্রিত করে বর্ণনা করার জন্য যে কণাগুলি কীভাবে ইন্টারঅ্যাক্ট করে এবং স্থানের মধ্য দিয়ে চলে।

QFT-এ-

কণা হলো ক্ষেত্রগুলিতে তরঙ্গ: পুকুরের পৃষ্ঠের তরঙ্গগুলির মতো, কণাগুলিকে অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রগুলিতে ব্যাঘাত বা উত্তেজনা হিসাবে দেখা হয়। এই ধারণা আমাদের ব্যাখ্যা করতে সাহায্য করে কীভাবে ইলেক্ট্রন, ফোটন এবং কোয়ার্কের মত কণা বিদ্যমান এবং যোগাযোগ করে?

কোয়ান্টাম এবং ক্লাসিক্যাল একত্রীকরণ: যে ক্ষেত্রগুলিকে আমরা একসময় অবিচ্ছিন্ন বলে মনে করতাম সেগুলিকে এখন কোয়ান্টাম বৈশিষ্ট্য হিসাবে দেখা যায়। এর মানে হল যে, ক্ষেত্রগুলি নিজেরাই কোয়ান্টাম মেকানিক্সের অদ্বুত নিয়মগুলি অনুসরণ করে।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির ঐতিহাসিক বিকাশ

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি বোঝার যাত্রা একটি দীর্ঘ এবং আকর্ষণীয় ছিল, যুগান্তকারী আবিষ্কারে ভরা যা মহাবিশ্ব সম্পর্কে আমাদের দৃষ্টিভঙ্গিকে রূপান্তরিত করেছে। কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির (QFT) বিকাশ রাতারাতি ঘটেনি—এটি ক্লাসিক্যাল ফিজিক্স, কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং আপেক্ষিকতার বিভিন্ন মূল ধারণার সমন্বয়ের ফলাফল। আসুন ঐতিহাসিক মাইলফলকগুলি দেখে নেওয়া যাক যা কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তৈরির দিকে পরিচালিত করেছিল।

কোয়ান্টাম ফিল্ডগুলির ঐতিহাসিক বিকাশ

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি বোঝার যাত্রা একটি দীর্ঘ এবং আকর্ষণীয় ছিল, যুগান্তকারী আবিষ্কারে ভরা যা মহাবিশ্ব সম্পর্কে আমাদের দৃষ্টিভঙ্গিকে রূপান্তরিত করেছে। কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির (QFT) বিকাশ রাতারাতি ঘটেনি—এটি ক্লাসিক্যাল ফিজিক্স, কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং আপেক্ষিকতার বিভিন্ন মূল ধারণার সমন্বয়ের ফলাফল। আসুন ঐতিহাসিক মাইলফলকগুলি দেখে নেওয়া যাক যা কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তৈরির দিকে পরিচালিত করেছিল।

ধ্রুপদী ফিল্ড বা ক্ষেত্রগুলির জন্ম (১৮০০)

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির গল্প ১৯ শতকে ধ্রুপদী ক্ষেত্রগুলির ধারণা দিয়ে শুরু হয়। এই সময়ে, বিজ্ঞানীরা মাধ্যাকর্ষণ এবং ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের মতো শক্তি বোঝার চেষ্টা করছিলেন।

নিউটনের মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র (১৬৮৭): আইজ্যাক নিউটনের সার্বজনীন মাধ্যাকর্ষণ আইন ব্যাখ্যা করেছে যে কীভাবে বিশাল বস্তু একে অপরকে আকর্ষণ করে? কিন্তু এটি ব্যাখ্যা করেনি যে কীভাবে এই আকর্ষণ খালি স্থানের মাধ্যমে কাজ করে? মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের এই ধারণাটি দূরত্বে কাজ করে এমন শক্তির বর্ণনা করতে সাহায্য করেছিল।

ফ্যারাডে এবং ম্যাক্সওয়েলের ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড (১৮০০ এর দশক): মাইকেল ফ্যারাডে এবং জেমস ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল ক্ষেত্রগুলির ধারণাটিকে আরও এগিয়ে নিয়েছিলেন। ফ্যারাডে চুম্বক এবং বৈদ্যুতিক চার্জ কীভাবে মিথস্ক্রিয়া করে তা ব্যাখ্যা করার জন্য একটি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের ধারণা চালু করেছিলেন। ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণ (১৮৬৪) একীভূত বিদ্যুৎ এবং চুম্বকত্ব, দেখায় যে আলো একটি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক তরঙ্গ যা মহাকাশের মধ্য দিয়ে ভ্রমণ করে।

এই ধ্রুপদী ক্ষেত্রগুলি অবিচ্ছিন্ন এবং মসৃণ ছিল, যা বর্ণনা করে যে কীভাবে শক্তিগুলি স্থান এবং সময়ের উপর ছড়িয়ে পড়ে। কিন্তু তারা এখনও কোয়ান্টাম মেকানিক্স অন্তর্ভুক্ত করেনি, যা তখনও অনাবিষ্কৃত ছিল।

কোয়ান্টাম বিপ্লব (১৯০০ এর প্রথম দিকে)

২০ শতকের শুরুতে, বিজ্ঞানীরা আবিষ্কার করেছিলেন যে নিউটনীয়ান পদার্থবিদ্যা খুব ছোট স্কেলে নির্দিষ্ট ঘটনা ব্যাখ্যা করতে পারে না, যেমন পরমাণুগুলি কীভাবে আচরণ করে। পরবর্তীতে এর ফলে কোয়ান্টাম মেকানিক্সের জন্ম হয়।

প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম হাইপোথিসিস (১৯০০): ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক প্রস্তাব করেছিলেন যে শক্তি অবিচ্ছিন্ন নয় তবে কোয়ান্টা নামক বিচ্ছিন্ন প্যাকেটে আসে। এই ধারণাটি ছিল বৈপ্লবিক এবং কোয়ান্টাম তত্ত্বের দিকে প্রথম ধাপ হিসেবে চিহ্নিত।

আইনস্টাইনের ফটোইলেক্ট্রিক ইফেক্ট (১৯০৫): অ্যালবার্ট আইনস্টাইন প্লাঙ্কের ধারণাকে প্রসারিত করেছিলেন এবং প্রস্তাব করেছিলেন যে আলো নিজেই কণা দিয়ে তৈরি, যাকে আমরা এখন ফোটন বলি। এটি দেখিয়েছিল যে এমনকি আলো, যা একটি অবিচ্ছিন্ন তরঙ্গ বলে মনে করা হয়েছিল, একটি কণার মতো আচরণ করতে পারে।

বোরের পারমাণবিক মডেল (১৯১৩): নিলস বোর পরমাণুর একটি মডেল প্রবর্তন করেছিলেন যেখানে ইলেকট্রনগুলি নির্দিষ্ট শক্তি স্তরে নিউক্লিয়াসকে প্রদক্ষিণ করে, কোয়ান্টাম তত্ত্বকে আরও অগ্রসর করে।

যাইহোক, এই প্রারম্ভিক কোয়ান্টাম ধারণাগুলি কণার উপর দৃষ্টি নিবদ্ধ করেছিল, ক্ষেত্র নয়। চ্যালেঞ্জ ছিল নতুন কোয়ান্টাম ধারণাকে ক্লাসিক্যাল ক্ষেত্রগুলির সাথে একত্রিত করা, এবং এখানেই পরবর্তী অগ্রগতি ঘটে।

কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং বিশেষ আপেক্ষিকতা (১৯২০-১৯৩০)-

শ্রোডিঞ্জারের তরঙ্গ সমীকরণ (১৯২৬): এরউইন শ্রোডিঞ্জার তরঙ্গ সমীকরণ তৈরি করেছিলেন, যা বর্ণনা করে যে কীভাবে ইলেকট্রনের মতো কণাগুলি তরঙ্গ হিসাবে চলে এবং আচরণ করে। এটি কোয়ান্টাম মেকানিক্সের একটি ভিত্তি ছিল, তবে এটি এখনও কণাকে ক্ষেত্র থেকে পৃথক হিসাবে বিবেচনা করে।

ডিরাকের সমীকরণ (১৯২৮): পল ডিরাক কোয়ান্টাম মেকানিক্সকে বিশেষ আপেক্ষিকতার সাথে একত্রিত করেছেন (আইনস্টাইনের তত্ত্ব কীভাবে স্থান এবং সময় সংযুক্ত রয়েছে)। তার সমীকরণটি সফলভাবে ইলেকট্রনের মতো দ্রুত গতিশীল কণার আচরণ বর্ণনা করেছে এবং অ্যান্টিম্যাটারের অস্তিত্বের ভবিষ্যদ্বাণী করেছে- কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির দিকে একটি বিশাল লাফ। ডিরাকের কাজ পরামর্শ দিয়েছে যে কণা এবং ক্ষেত্রগুলি সর্বোপরি আলাদা নাও হতে পারে।

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের জন্ম (১৯৩০-১৯৫০)

২০ শতকের মাঝামাঝি সময়ে কণাগুলি হল ব্যাঘাত বা ক্ষেত্রগুলির উত্তেজনা এই ধারণাটি ফোকাসে এসেছিল।

কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকস (QED) (১৯৪০): QED, রিচার্ড ফাইনম্যান, জুলিয়ান শোইঙ্গার এবং সিন-ইতিরো টোমোনাগা দ্বারা তৈরি, প্রথম সম্পূর্ণ কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব। এটি ব্যাখ্যা করে যে কীভাবে চার্জযুক্ত কণাগুলি (ইলেকট্রনের মতো) ফোটন বিনিময় করে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের সাথে যোগাযোগ করে। ফাইনম্যানের চিত্রগুলি এই মিথস্ক্রিয়াগুলিকে কল্পনা করা সহজ করে তুলেছে। এটি একটি বিশাল সাফল্য ছিল এবং QFT এর জন্মকে একটি নির্ভরযোগ্য কাঠামো হিসেবে চিহ্নিত করেছে।

পুনর্নবীকরণ (১৯৫০) : QFT-এ একটি চ্যালেঞ্জ ছিল যে গণনা প্রায়শই অসীম ফলাফল দেয়।

পুনর্নবীকরণের কৌশল, ফেইনম্যান এবং শোইংগারের মতো পদার্থবিদদের দ্বারা বিকাশ করা, বিজ্ঞানীদের এই অসীমতাগুলিকে অপসারণ করতে এবং সুনির্দিষ্ট ভবিষ্যদ্বাণী করতে অনুমতি দেয়। এই QED কে এখন পর্যন্ত বিকশিত সবচেয়ে নির্ভুল তত্ত্বগুলির মধ্যে একটি হিসাবে দৃঢ় করেছে।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র সম্প্রসারণ (১৯৬০-বর্তমান)

QED-এর পরে, বিজ্ঞানীরা বুঝতে পেরেছিলেন যে একই নীতিগুলি অন্যান্য শক্তি এবং কণাগুলিতে প্রয়োগ করা যেতে পারে।

স্ট্যান্ডার্ড মডেল (১৯৭০): কণা পদার্থবিদ্যার স্ট্যান্ডার্ড মডেলটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্র ব্যবহার করে সমস্ত পরিচিত কণা এবং বল (মাধ্যাকর্ষণ ব্যতীত) বর্ণনা করার জন্য তৈরি করা হয়েছিল। এতে ইলেক্ট্রোওয়েক তত্ত্ব (যা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম এবং দুর্বল পারমাণবিক বলকে একীভূত করে) এবং শক্তিশালী পারমাণবিক

বল (যা পারমাণবিক নিউক্লিয়াসের ভিতরে প্রোটন এবং নিউট্রনকে একত্রে ধারণ করে) অন্তর্ভুক্ত করে। হিগস ফিল্ড, 2012 সালে আবিষ্কৃত, ব্যাখ্যা করে কিভাবে কণা ভর লাভ করে।

কোয়ান্টাম ক্রোমোডাইনামিক্স (QCD): এই তত্ত্বটি বর্ণনা করে কিভাবে কোয়ার্কগুলি গ্লুয়ন নামক কণার বিনিময় করে শক্তিশালী বলের মাধ্যমে যোগাযোগ করে। এটি QFT নীতির আরেকটি সফল প্রয়োগ।

কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটি এবং বিয়ন্ড: এর সাফল্য সত্ত্বেও, QFT এখনও অসম্পূর্ণ। সবচেয়ে বড় চ্যালেঞ্জগুলির মধ্যে একটি হল মহাকর্ষের জন্য একটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব তৈরি করা, এমন কিছু যা আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতার সাধারণ তত্ত্বের সাথে QFT একত্রিত করতে পারে। কোয়ান্টাম মাধ্যাকর্ষণ, স্ট্রিং তত্ত্ব এবং অন্যান্য উন্নত তত্ত্ব নিয়ে গবেষণা চলছে।

অধ্যায় ২

কোয়ান্টাম মেকানিক্সের মৌলিক বিষয়

কোয়ান্টাম মেকানিক্স হল পদার্থবিজ্ঞানের একটি মৌলিক তত্ত্ব যা পারমাণবিক এবং উপ-পরমাণু স্কেলে পদার্থ এবং শক্তির আচরণকে বর্ণনা করে। এটি এমন একটি রাজ্য যেখানে বিশ্ব কীভাবে কাজ করে সে সম্পর্কে আমাদের দৈনন্দিন অন্তর্দৃষ্টিগুলি ভেঙে যায় এবং আমরা সম্ভাবনা, অনিশ্চয়তা এবং আন্তঃসংযুক্ততার একটি উদ্ভূত এবং আকর্ষণীয় ল্যান্ডস্কেপে প্রবেশ করি। এই অধ্যায়ে, আমরা মূল ধারণাগুলি অন্বেষণ করব যা কোয়ান্টাম মেকানিক্সের ভিত্তি তৈরি করে এবং কীভাবে তারা একে অপরের সাথে সংযুক্ত করে বাস্তবতার ক্ষুদ্রতম স্কেলে একটি সুসংগত (যদিও প্রতি-অন্তঃস্তানমূলক) ছবি তৈরি করে।

তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা

কোয়ান্টাম মেকানিক্সের কেন্দ্রবিন্দুতে একটি প্যারাডক্স রয়েছে: পদার্থ এবং শক্তির দ্বৈত প্রকৃতি। শাস্ত্রীয় বিশ্বে, আমরা জিনিসগুলিকে হয় কণা (বিলিয়ার্ড বলের মতো) বা তরঙ্গ (পুকুরের তরঙ্গের মতো) হিসাবে ভাবতে অভ্যস্ত। কিন্তু কোয়ান্টাম জগতে, সত্তাগুলি কণা এবং তরঙ্গ উভয়ের বৈশিষ্ট্য প্রদর্শন করতে পারে, আমরা কীভাবে তাদের পর্যবেক্ষণ করি তার উপর নির্ভর করে।

মূল পয়েন্ট-

আলো, ঐতিহ্যগতভাবে একটি তরঙ্গ হিসেবে বিবেচিত, নির্দিষ্ট পরীক্ষায় কণা (ফোটন) এর মতো আচরণ করতে পারে।

ইলেকট্রনের মতো কণা, সাধারণত ক্ষুদ্র গোলক হিসেবে বিবেচিত, তরঙ্গের মতো বৈশিষ্ট্য প্রদর্শন করতে পারে।

বিখ্যাত ডাবল-স্লিট পরীক্ষা নাটকীয়ভাবে এই দ্বৈততাকে চিত্রিত করে।

আকর্ষণীয় তথ্য: তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা প্রথম প্রস্তাব করেছিলেন লুই ডি ব্রোগলি ১৯২৪ সালে। তিনি পরামর্শ দিয়েছিলেন যে সমস্ত পদার্থের একটি সম্পর্কিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য রয়েছে, যা $\lambda = h/p$ সমীকরণ দ্বারা দেওয়া হয়েছে, যেখানে h হল প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক এবং p হল ভরবেগ।

সুপারপজিশন

সুপারপজিশন হল একটি কোয়ান্টাম সিস্টেমের ক্ষমতা যা পরিমাপ বা পর্যবেক্ষণ না করা পর্যন্ত একই সাথে একাধিক অবস্থায় বিদ্যমান থাকে। এই ধারণাটি প্রায়শই শ্রোডিঞ্জারের বিড়ালের বিখ্যাত চিন্তা পরীক্ষা দ্বারা চিত্রিত হয়, যা বাস্তব খোলা না হওয়া পর্যন্ত জীবিত এবং মৃত উভয়ই থাকে।

মূল পয়েন্ট-

সমস্ত সম্ভাব্য অবস্থার সংমিশ্রণে একটি কোয়ান্টাম সিস্টেম থাকতে পারে।

পরিমাপের কাজ একটি একক নির্দিষ্ট অবস্থায় সুপারপজিশনকে "পতন" করে।

সুপারপজিশন হল কোয়ান্টাম কম্পিউটিং এর ভিত্তি, যেখানে কিউবিট একসাথে একাধিক অবস্থার প্রতিনিধিত্ব করতে পারে।

আকর্ষণীয় তথ্য: কোয়ান্টাম সুপারপজিশন বৃহত্তর এবং বৃহত্তর বস্তুর সাথে প্রদর্শিত হয়েছে। ২০১৯ সালে, বিজ্ঞানীরা ২০০০-পরমাণু অণুর সাথে কোয়ান্টাম সুপারপজিশন অর্জন করেছেন, যা এখনও পর্যন্ত কোয়ান্টাম আচরণ প্রদর্শন করতে পারে এমন বৃহত্তম বস্তু।

শ্রোডিঞ্জার সমীকরণ ওভারভিউ

শ্রোডিঞ্জার সমীকরণ হল কোয়ান্টাম মেকানিক্স যা নিউটনের গতির সূত্র ক্লাসিক্যাল মেকানিক্সের কাছে। এটি একটি গাণিতিক বর্ণনা কিভাবে একটি ভৌত সিস্টেমের কোয়ান্টাম অবস্থা সময়ের সাথে পরিবর্তিত হয়।

মূল পয়েন্ট-

সমীকরণটি একটি কোয়ান্টাম-যান্ত্রিক সিস্টেমের তরঙ্গ ফাংশন বর্ণনা করে।

এটি একটি রৈখিক আংশিক ডিফারেনশিয়াল সমীকরণ যা জটিল সংখ্যা ব্যবহার করে।

শ্রোডিঞ্জার সমীকরণের সমাধানগুলি একটি কোয়ান্টাম সিস্টেমের একটি সম্পূর্ণ বিবরণ প্রদান করে।

সময়-স্বাধীন শ্রোডিঞ্জার সমীকরণ:

$$H\psi = E\psi$$

কোথায়:

H হল হ্যামিল্টোনিয়ান অপারেটর

ψ (psi) হল তরঙ্গ ফাংশন

E হল রাষ্ট্রের শক্তি

আকর্ষণীয় তথ্য: সুইস আল্ফ্রেডে ছুটিতে থাকাকালীন ১৯২৫ সালে এরউইন শ্রোডিঞ্জার তার বিখ্যাত সমীকরণ তৈরি করেছিলেন। তিনি পদার্থ তরঙ্গ সম্পর্কে ডি ব্রগলির ধারণা দ্বারা অনুপ্রাণিত হয়েছিলেন এবং তাদের জন্য একটি তরঙ্গ সমীকরণ খুঁজে বের করার চেষ্টা করেছিলেন।

অপারেটর এবং পর্যবেক্ষণযোগ্য পরিচিতি

কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, শারীরিক পর্যবেক্ষণযোগ্য (যেমন অবস্থান, ভরবেগ বা শক্তি) অপারেটরদের দ্বারা প্রতিনিধিত্ব করা হয়। এগুলি হল গাণিতিক বস্তু যা পরিমাপযোগ্য পরিমাণ তৈরি করতে তরঙ্গ ফাংশনের উপর কাজ করে।

মূল পয়েন্ট-

কোয়ান্টাম মেকানিক্সের অপারেটর হল রৈখিক এবং হারমিটিয়ান (স্ব-সংলগ্ন)।

সাধারণ অপারেটরগুলির মধ্যে রয়েছে অবস্থান অপারেটর (x), ভরবেগ অপারেটর ($-i\hbar \nabla$), এবং শক্তি অপারেটর (হ্যামিলটোনিয়ান)।

একটি অপারেটরের eigenvalues সংশ্লিষ্ট পর্যবেক্ষণযোগ্য পরিমাপের সম্ভাব্য ফলাফলের প্রতিনিধিত্ব করে।

আকর্ষণীয় তথ্য- দুটি অপারেটরের কমিউটেটর, $[A, B] = AB - BA$, কোয়ান্টাম মেকানিক্সে একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। যদি দুটি অপারেটর যাতায়াত করে ($[A, B] = 0$), তাদের সংশ্লিষ্ট অবজারভেবলগুলিকে নির্বিচারে নির্ভুলতার সাথে একই সাথে পরিমাপ করা যেতে পারে।

কোয়ান্টাম স্টেটস এবং সম্ভাব্যতা

কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, একটি সিস্টেমের অবস্থা একটি তরঙ্গ ফাংশন দ্বারা বর্ণনা করা হয়, যা সিস্টেম সম্পর্কে সমস্ত তথ্য ধারণ করে। যাইহোক, এই তথ্য প্রকৃতির সম্ভাব্য।

মূল পয়েন্ট:

তরঙ্গ ফাংশন ψ স্থান এবং সময়ের একটি জটিল-মূল্যবান ফাংশন।

$|\psi|^2$ একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে কণা খুঁজে পাওয়ার সম্ভাবনার ঘনত্ব দেয়।

পরিমাপের উপর তরঙ্গ ফাংশনের পতন কোয়ান্টাম মেকানিক্সের একটি মূল বৈশিষ্ট্য।

মজার ঘটনা: কোয়ান্টাম মেকানিক্সের সম্ভাব্য প্রকৃতি আইনস্টাইনকে বিখ্যাত মন্তব্য করতে পরিচালিত করেছিল, "ঈশ্বর মহাবিশ্বের সাথে পাশা খেলেন না।" তিনি প্রকৃতির মৌলিক এলোমেলোতার ধারণা নিয়ে অস্বস্তিকর ছিলেন, কিন্তু পরবর্তী পরীক্ষাগুলি ধারাবাহিকভাবে সম্ভাব্য ব্যাখ্যাকে সমর্থন করেছে।

মূল ধারণার মধ্যে আন্তঃসংযোগ

আমরা যে ধারণাগুলি নিয়ে আলোচনা করেছি তা গভীরভাবে আন্তঃসংযুক্ত, কোয়ান্টাম মেকানিক্সের ভিত্তি তৈরি করে:

তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা এবং শ্রোডিঞ্জার সমীকরণ: শ্রোডিঞ্জার সমীকরণ হল একটি তরঙ্গ সমীকরণ যা কোয়ান্টাম কণার আচরণকে বর্ণনা করে, সরাসরি তরঙ্গ-কণা দ্বৈততাকে মূর্ত করে।

সুপারপজিশন এবং কোয়ান্টাম স্টেটস: সুপারপজিশনের নীতিটি কোয়ান্টাম স্টেটে গাণিতিকভাবে উপস্থাপন করা হয়। একটি কোয়ান্টাম অবস্থা অন্যান্য সম্ভাব্য অবস্থার একটি রৈখিক সংমিশ্রণ হতে পারে, যা একই সাথে একাধিক রাজ্যে বিদ্যমান সিস্টেমের ক্ষমতাকে প্রতিফলিত করে।

অনিশ্চয়তা নীতি এবং অপারেটর: অনিশ্চয়তার নীতি নির্দিষ্ট জোড়া অপারেটরের গাণিতিক বৈশিষ্ট্য থেকে উদ্ভূত হয়। উদাহরণস্বরূপ, অবস্থান এবং ভরবেগ অপারেটরগুলি যাতায়াত করে না, যার ফলে অবস্থান-বেগের অনিশ্চয়তা সম্পর্ক তৈরি হয়।

তরঙ্গ ফাংশন এবং সম্ভাব্যতা: তরঙ্গ ফাংশন, যা শ্রোডিঞ্জার সমীকরণের সমাধান, একটি কোয়ান্টাম সিস্টেম সম্পর্কে সমস্ত সম্ভাব্য তথ্য ধারণ করে। এর বিশালতার বর্গ বিভিন্ন পরিমাপের জন্য সম্ভাব্যতার ঘনত্ব দেয়। পরিমাপ এবং সুপারপজিশন সঙ্কুচিত: কোয়ান্টাম মেকানিক্সে পরিমাপের কাজটি রাষ্ট্রের সুপারপজিশন থেকে একটি নির্দিষ্ট অবস্থায় তরঙ্গ ফাংশনের পতনের সাথে ঘনিষ্ঠভাবে আবদ্ধ।

এই আন্তঃসংযোগগুলি কোয়ান্টাম তত্ত্বের সংগতি এবং সৌন্দর্যকে হাইলাইট করে, এর বিপরীত স্বভাব সত্ত্বেও। পরবর্তী বিভাগে, আমরা এই ধারণাগুলির প্রতিটির গভীরে অনুসন্ধান করব এবং মাইক্রোস্কোপিক বিশ্ব সম্পর্কে আমাদের বোঝার জন্য তাদের প্রভাবগুলি অন্বেষণ করব।

অধ্যায় ৩

ক্লাসিক্যাল ফিল্ড এবং কোয়ান্টাম আপগ্রেড

ক্লাসিক্যাল ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড

ধ্রুপদী ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রগুলি বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বকীয় শক্তিগুলির মধ্যে মিথস্ক্রিয়া বর্ণনা করে, যা প্রকৃতির মৌলিক শক্তি। এই তত্ত্বটি জেমস ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েলের কাজের মধ্যে নিহিত, যেটা ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণ নামে পরিচিত, যা সমীকরণের একটি সেট তৈরি করেছিলেন। এই সমীকরণগুলি শাস্ত্রীয় ইলেক্ট্রোডাইনামিকসের ভিত্তি তৈরি করে, ব্যাখ্যা করে যে কীভাবে বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বক ক্ষেত্রগুলি চার্জ এবং স্রোত দ্বারা উৎপন্ন এবং পরিবর্তিত হয়। সহজ কথায়, বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রগুলি বৈদ্যুতিক চার্জ থেকে উদ্ভূত হয়, যখন চৌম্বক ক্ষেত্রগুলি এই চার্জগুলি বা বৈদ্যুতিক স্রোতের গতিবিধির ফলে তৈরি হয়। যাইহোক, এই দুটি ক্ষেত্র গভীরভাবে আন্তঃসংযুক্ত: একটি পরিবর্তিত বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র একটি চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি করতে পারে এবং বিপরীতভাবে, একটি পরিবর্তনশীল চৌম্বক ক্ষেত্র একটি বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে প্ররোচিত করতে পারে।

ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণগুলি দেখায় যে বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বক ক্ষেত্রগুলি স্থির নয় তবে তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ আকারে স্থানের মাধ্যমে প্রচার করতে পারে। আলো, উদাহরণস্বরূপ, একটি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক তরঙ্গ যা একটি স্থির গতিতে, আলোর গতিতে একটি ভ্যাকুয়ামের মধ্য দিয়ে ভ্রমণ করে এবং একে অপরের সাথে লম্বভাবে দোদুল্যমান বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বকীয় ক্ষেত্রগুলির সমন্বয়ে গঠিত। ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রগুলির এই তরঙ্গ-সদৃশ প্রকৃতি ক্লাসিক্যাল ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের একটি গুরুত্বপূর্ণ দিক এবং রেডিও তরঙ্গ, মাইক্রোওয়েভ এবং এক্স-রে এর মতো ঘটনা ব্যাখ্যা করে।

তত্ত্বটি দূরত্বে কীভাবে শক্তি প্রেরণ করা হয় তা বোঝাতেও সহায়তা করে। একটি বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে স্থাপিত একটি চার্জযুক্ত কণা একটি বল অনুভব করবে, এটিকে ধাক্কা দেয় বা টানবে তার চার্জের চিহ্ন এবং ক্ষেত্রের দিকনির্দেশের উপর নির্ভর করে। একইভাবে, একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত একটি কারেন্ট-বহনকারী তার কারেন্ট এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের উভয়ের সাথে লম্বভাবে একটি বল অনুভব করবে, বৈদ্যুতিক মোটরগুলিতে ব্যবহৃত একটি নীতি।

শাস্ত্রীয় ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের আকর্ষণীয় দিকগুলির মধ্যে একটি হল ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রগুলি কীভাবে উপকরণগুলির সাথে যোগাযোগ করে তা বর্ণনা করার ক্ষমতা। কন্ডাক্টরগুলিতে, মুক্ত ইলেকট্রনগুলি বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের প্রতিক্রিয়ায় চলে যায়, যা বৈদ্যুতিক স্রোতের জন্ম দেয়, যখন ইনসুলেটরগুলিতে, ইলেকট্রনগুলি শক্তভাবে পরমাণুর সাথে আবদ্ধ থাকে এবং অবাধে চলাচল করতে পারে না। উপাদান চৌম্বক ক্ষেত্র প্রভাবিত করতে পারে; উদাহরণস্বরূপ, লোহার মতো ফেরোম্যাগনেটিক উপাদানগুলিকে চুম্বক করা যেতে পারে, তাদের নিজস্ব চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি করে। তত্ত্বটি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ইন্ডাকশনের মত ধারণার জন্যও প্রসারিত, যেখানে একটি চলমান চৌম্বক ক্ষেত্র কাছাকাছি কন্ডাক্টরে একটি কারেন্ট প্ররোচিত করতে পারে, যা বৈদ্যুতিক জেনারেটর এবং ট্রান্সফরমারগুলির পিছনে অপারেটিং নীতি।

যদিও শাস্ত্রীয় ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রগুলি অনেক ঘটনা বর্ণনা করার জন্য একটি শক্তিশালী কাঠামো প্রদান করে, এটি একটি বিস্তৃত ক্ষেত্রের একটি অংশ যা শাস্ত্রীয় ক্ষেত্র তত্ত্ব নামে পরিচিত। এটি কণার কোয়ান্টাম

দিকগুলির জন্য হিসাব করে না, তবে যোগাযোগ প্রযুক্তি, বৈদ্যুতিক প্রকৌশল এবং অপটিক্স সহ অনেক ব্যবহারিক প্রয়োগের জন্য ক্লাসিক্যাল ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক তত্ত্ব অপরিহার্য।

শারীরিক সত্তা হিসাবে ক্ষেত্র:

শারীরিক সত্তা হিসাবে ক্ষেত্রের ধারণা প্রকৃতির শক্তি সম্পর্কে আমাদের বোঝার কেন্দ্রবিন্দু। ঐতিহ্যগতভাবে, শক্তিগুলিকে কণার মধ্যে মিথস্ক্রিয়া হিসাবে ভাবা হত, কিন্তু ক্ষেত্র তত্ত্বের বিকাশ এই মিথস্ক্রিয়াগুলি সম্পর্কে চিন্তা করার একটি নতুন উপায় চালু করেছিল। দূরত্বে সরাসরি কাজ করার পরিবর্তে, ক্ষেত্রগুলি এমন মাধ্যম সরবরাহ করে যার মাধ্যমে কণাগুলি একে অপরকে প্রভাবিত করে, এমনকি যখন তারা সরাসরি যোগাযোগে না থাকে। একটি ক্ষেত্র, এই অর্থে, একটি অবিচ্ছিন্ন সত্তা যা স্থান এবং সময়ের সর্বত্র বিদ্যমান। এটি স্থানের প্রতিটি বিন্দুতে একটি সংখ্যা বা ভেক্টরের মতো একটি মান নির্ধারণ করে এবং এই ক্ষেত্রের মাধ্যমেই কণাগুলি যোগাযোগ করে।

একটি ক্ষেত্রের সবচেয়ে পরিচিত উদাহরণগুলির মধ্যে একটি হল মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র। পৃথিবী একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র তৈরি করে যা এর চারপাশের বস্তুগুলিকে প্রভাবিত করে, তাদের গ্রহের কেন্দ্রের দিকে টেনে নেয়। এই ক্ষেত্রে, ক্ষেত্রটি বর্ণনা করার একটি উপায় যে কিভাবে পৃথিবীর ভর অন্যান্য জনগণকে প্রভাবিত করে, এমনকি অনেক দূরত্বেও। ক্ষেত্রটি নিজেই একটি ভৌত সত্তা যা মহাকাশে প্রবেশ করে এবং এই ক্ষেত্রটিই মহাকর্ষীয় শক্তির মধ্যস্থতা করে।

ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড একই ভাবে কাজ করে। একটি চার্জযুক্ত কণা, একটি ইলেকট্রনের মতো, এটির চারপাশে একটি বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র তৈরি করে। এই ক্ষেত্রটি তার আশেপাশে থাকা অন্যান্য চার্জযুক্ত কণাগুলিকে প্রভাবিত করে, হয় তাদের আকর্ষণ করে বা বিতাড়িত করে। একটি চলমান চার্জ, বা একটি বৈদ্যুতিক প্রবাহ, একটি চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি করে, যা অন্যান্য চলমান চার্জকেও প্রভাবিত করতে পারে। এই ক্ষেত্রগুলি বিমূর্ত ধারণা নয় কিন্তু প্রকৃত শারীরিক সত্তা হিসাবে বিবেচিত হয় কারণ তারা শক্তি এবং ভরবেগ বহন করে। তারা অন্যান্য ক্ষেত্র এবং কণার সাথে যোগাযোগ করতে পারে এবং ক্ষেত্রগুলির পরিবর্তনগুলি আলোর ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক তরঙ্গের মতো স্থানের মাধ্যমে প্রচার করতে পারে।

ক্ষেত্রগুলি হলো ভৌত সত্তা এই ধারণাটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের বিকাশের সাথে আরও স্পষ্ট হয়ে উঠেছে। কোয়ান্টাম তত্ত্বে, ক্ষেত্রগুলি কেবল পটভূমি সত্তা নয় যেগুলির মধ্য দিয়ে কণাগুলি চলে; পরিবর্তে, কণাগুলিকে অন্তর্নিহিত কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির উত্তেজনা হিসাবে দেখা হয়। উদাহরণস্বরূপ, ফোটন, আলোর কণা, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের একটি উত্তেজনা। এই দৃষ্টিকোণটি কণা সম্পর্কে আমাদের বোঝার পরিবর্তন করে-এগুলিকে আর স্বতন্ত্র বস্তু হিসাবে বিবেচনা করা হয় না বরং একটি ক্ষেত্রের ব্যাঘাত হিসাবে বিবেচনা করা হয়। ক্ষেত্রটি সর্বত্র বিদ্যমান, এবং একটি কণার উপস্থিতি কেবল ক্ষেত্রে একটি স্থানীয় উত্তেজনা।

এই দৃষ্টিভঙ্গি একটি গাণিতিক টুল থেকে ক্ষেত্রগুলিকে একটি ভৌত বাস্তবতায় রূপান্তরিত করে।

ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড, গ্র্যাভিটেশনাল ফিল্ড, এমনকি কোয়ান্টাম মেকানিক্সের ক্ষেত্র যেমন হিগস ফিল্ড, সবই মহাবিশ্বের গঠনে সক্রিয় ভূমিকা পালন করে। ক্ষেত্রগুলি একে অপরের সাথে যোগাযোগ করতে পারে, শক্তি স্থানান্তর করতে পারে এবং যেভাবে শক্তি প্রেরণ করা হয় তার জন্য মৌলিক। উদাহরণস্বরূপ, যখন দুটি চার্জ ইন্টারঅ্যাক্ট করে, তখন চার্জগুলিই একে অপরের উপর সরাসরি শক্তি প্রয়োগ করে না, তবে তারা যে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড তৈরি করে তা কাজ করছে। ক্ষেত্রের পরিবর্তনগুলি তরঙ্গ হিসাবে প্রচার করে, মহাকাশে শক্তি বহন করে।

এই অর্থে, ক্ষেত্রগুলি কণার মতোই বাস্তব। এগুলি অবিচ্ছিন্ন, মহাবিশ্বকে ভরাট করে এবং সেই মঞ্চ হিসাবে কাজ করে যেখানে সমস্ত শারীরিক মিথস্ক্রিয়া ঘটে। এই ধারণাটি ভৌত জগতের গভীরতর বোঝার অনুমতি দেয়, যেখানে কণা এবং ক্ষেত্রগুলির মধ্যে রেখাগুলি ঝাপসা হয়ে যায়, যা প্রকৃতির একীভূত দৃষ্টিভঙ্গির দিকে

পরিচালিত করে। আমরা মহাকর্ষ, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম, বা পরমাণুর মধ্যে থাকা শক্তি সম্পর্কে কথা বলছি না কেন, ক্ষেত্রগুলি হলো মৌলিক সত্তা যা সংজ্ঞায়িত করে যে বস্তু কীভাবে মিথস্ক্রিয়া করে এবং আচরণ করে।

ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের পরিমাণ নির্ধারণ: ফোটনের ধারণা

ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের পরিমাপ করা এবং ফোটন ধারণাটি প্রবর্তন করা আলো এবং পদার্থের সাথে এর মিথস্ক্রিয়া বোঝার জন্য একটি বিপ্লবী পদক্ষেপ ছিল। ক্লাসিক্যাল ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক তত্ত্ব, ম্যাক্সওয়েল দ্বারা বিকশিত, আলোকে একটি তরঙ্গ হিসাবে বর্ণনা করে, যেখানে দোদুল্যমান বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বকীয় ক্ষেত্র স্থানের মাধ্যমে প্রচার করে। এই তরঙ্গের বর্ণনাটি প্রতিফলন, প্রতিসরণ এবং বিচ্ছুরণের মতো ঘটনা ব্যাখ্যা করার ক্ষেত্রে অত্যন্ত সফল ছিল, তবে এটি নির্দিষ্ট পর্যবেক্ষণের সাথে লড়াই করেছে, বিশেষ করে যেগুলি একটি মাইক্রোস্কোপিক স্কেলে পদার্থের সাথে কীভাবে যোগাযোগ করে তার সাথে সম্পর্কিত।

মূল চ্যালেঞ্জটি ফোটোইলেক্ট্রিক প্রভাবের মতো পরীক্ষাগুলি থেকে এসেছে, যেখানে ধাতব পৃষ্ঠে আলো জ্বলে ধাতু থেকে ইলেক্ট্রন বের করতে পারে। শাস্ত্রীয় তরঙ্গ তত্ত্ব অনুসারে, নির্গত ইলেকট্রনের শক্তি আলোর তীব্রতার (এর উজ্জ্বলতা) উপর নির্ভর করে। যাইহোক, পরীক্ষায় দেখা গেছে যে ইলেক্ট্রনের শক্তি তীব্রতার উপর নয়, আলোর কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে। আলো যতই তীব্র হোক না কেন, যদি এর ফ্রিকোয়েন্সি একটি নির্দিষ্ট থ্রেশহোল্ডের নিচে থাকে, তাহলে কোনো ইলেকট্রন বের হয় না। এটি বিস্ময়কর ছিল কারণ শাস্ত্রীয় পদার্থবিদ্যা এটি ব্যাখ্যা করতে পারেনি।

এটি সমাধান করার জন্য, আলবার্ট আইনস্টাইন এই ধারণাটি প্রস্তাব করেছিলেন যে আলো কেবল একটি তরঙ্গ হিসাবে নয় বরং বিযুক্ত কণার সংগ্রহ হিসাবেও আচরণ করতে পারে, যাকে তিনি ফোটন বলে। এই ফোটনগুলি শক্তির পরিমাপযুক্ত প্যাকেট ছিল এবং তাদের শক্তি আলোর কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক ছিল। আলোর পরিমাপ করার এই ধারণাটি ধ্রুপদী তরঙ্গ দৃষ্টিভঙ্গি থেকে একটি প্রধান প্রশ্ন ছিল, এই ধারণাটি প্রবর্তন করে যে শক্তি নিজেই ছোট, অবিভাজ্য এককগুলিতে আসে। প্রতিটি ফোটন প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক সময়ের আলোর কম্পাঙ্কের সমান শক্তি বহন করে ($E = hf$), যেখানে " h " হল প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, এবং " f " হল ফ্রিকোয়েন্সি।

ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের পরিমাণ নির্ধারণ করে, পদার্থবিদরা ফোটোইলেক্ট্রিক প্রভাব এবং অন্যান্য ঘটনা ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হন যা তাদের বিভ্রান্ত করেছিল। ফোটোইলেক্ট্রিক প্রভাবে, এটি আলোর তীব্রতা ছিল না যা নির্ধারণ করে যে ইলেকট্রনগুলি নির্গত হয়েছে কিনা, বরং পৃথক ফোটনের শক্তি। যদি একটি ফোটনের শক্তি ধাতুর কাজের ফাংশনের চেয়ে বেশি হয় (একটি ইলেকট্রন বের করার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি), তবে ফোটন তার শক্তিকে একটি ইলেক্ট্রনে স্থানান্তর করতে পারে, যার ফলে এটি ধাতু থেকে পালিয়ে যেতে পারে। ফোটনের শক্তি খুব কম হলে, যত ফোটনই পৃষ্ঠে আঘাত করুক না কেন, কোনো ইলেকট্রন বের হবে না।

এই ফোটন ধারণাটিও বোঝার দিকে পরিচালিত করে যে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বিকিরণের উভয় কণার মতো এবং তরঙ্গের মতো বৈশিষ্ট্য রয়েছে, একটি দ্বৈততা যা কোয়ান্টাম মেকানিক্সের কেন্দ্রস্থলে রয়েছে। আলো হস্তক্ষেপ এবং বিচ্ছুরণের মতো ঘটনাগুলিতে একটি তরঙ্গের মতো আচরণ করতে পারে, তবে এটি ফোটোইলেক্ট্রিক প্রভাব এবং কম্পটন বিচ্ছুরণের মতো প্রক্রিয়াগুলিতে কণার মতো আচরণও প্রদর্শন করে, যেখানে পৃথক ফোটন পদার্থের সাথে যোগাযোগ করে। এই দ্বৈত প্রকৃতিটি তরঙ্গ-কণা দ্বৈততার নীতি দ্বারা ধারণ করা হয়েছে, যা শুধুমাত্র আলোর জন্য নয়, সমস্ত কোয়ান্টাম কণার জন্য প্রযোজ্য।

ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের পরিমাপ শুধুমাত্র আলোর কণা হিসাবে ফোটনের বাইরে চলে যায়। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বে, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডকে কোয়ান্টাম ক্ষেত্র হিসাবে বিবেচনা করা হয়, যার অর্থ এটি বিচ্ছিন্ন শক্তি স্তরে বিদ্যমান থাকতে পারে। ক্ষেত্রটি উত্তেজিত হলে, এটি ফোটন তৈরি করে, ক্ষেত্রের কোয়ান্টা। এই

ফোটনগুলি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বলের বাহক, চার্জযুক্ত কণাগুলির মধ্যে মিথস্ক্রিয়া মধ্যস্থতা করে। এই দৃষ্টিতে, ফোটনগুলি মহাকাশের মধ্য দিয়ে উড়ে যাওয়া ভৌত বস্তু নয়; এগুলি অন্তর্নিহিত ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের উত্তেজনা বা ব্যাঘাত।

এই কোয়ান্টামাইজড ফিল্ড পদ্ধতির একটি উল্লেখযোগ্য ফলাফল হলো এটি ব্যাখ্যা করতে সাহায্য করে যে কীভাবে আলো এবং পদার্থ কোয়ান্টাম স্তরে যোগাযোগ করে। ফোটনগুলি পরমাণু দ্বারা শোষিত বা নির্গত হতে পারে কারণ ইলেকট্রন বিভিন্ন শক্তি স্তরের মধ্যে চলে যায়। উদাহরণস্বরূপ, যখন একটি পরমাণু একটি ফোটন শোষণ করে, তখন তার একটি ইলেকট্রন একটি উচ্চ শক্তি স্তরে লাফ দেয়। যখন ইলেকট্রন নিম্ন শক্তি স্তরে ফিরে আসে, তখন একটি ফোটন নির্গত হয়। এই প্রক্রিয়াটি নক্ষত্র থেকে আলোর নির্গমন, লেজারগুলির কার্যকারিতা এবং আমাদের চোখ যেভাবে আলোকে উপলব্ধি করে তা সহ অনেকগুলি ঘটনাকে অন্তর্নিহিত করে।

ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের কোয়ান্টাইজেশন কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকস (QED) এর ভিত্তিও তৈরি করে, যে তত্ত্বটি বর্ণনা করে যে কীভাবে আলো এবং পদার্থ সবচেয়ে মৌলিক স্তরে যোগাযোগ করে। QED হল পদার্থবিদ্যার সবচেয়ে সঠিক তত্ত্বগুলির মধ্যে একটি, যা অবিশ্বাস্য নির্ভুলতার সাথে পরীক্ষামূলক ফলাফলের পূর্বাভাস দেয়। এই তত্ত্বে, ফোটনগুলি কেবল আলোর বাহক নয় বরং চার্জযুক্ত কণা যেমন ইলেকট্রন এবং প্রোটনের মধ্যে তড়িৎ চৌম্বকীয় বলের মধ্যস্থতাকারী।

সংক্ষেপে, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের পরিমাপ করা এবং ফোটন ধারণাটি প্রবর্তন করা ক্লাসিক্যাল তরঙ্গ তত্ত্ব এবং কোয়ান্টাম মেকানিক্সের মধ্যে ব্যবধান পূরণ করেছে। এটি ঘটনাটি ব্যাখ্যা করেছে যে শাস্ত্রীয় পদার্থবিজ্ঞান ফটোইলেক্ট্রিক প্রভাবের মতো করতে পারে না এবং একটি তরঙ্গ এবং একটি কণা উভয় হিসাবে আলোর জন্য একটি দ্বৈত প্রকৃতির প্রবর্তন করেছিল। বোঝার এই পরিবর্তনটি আধুনিক কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের বিকাশের পথ প্রশস্ত করেছে, যেখানে ক্ষেত্র এবং কণাগুলি গভীরভাবে আন্তঃসংযুক্ত এবং যেখানে ফোটনগুলি আলো এবং পদার্থের মধ্যে মিথস্ক্রিয়াতে একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে।

আপেক্ষিকতার ক্ষেত্র: ক্ষেত্রগুলিতে শক্তি এবং গতি

আপেক্ষিকতার প্রেক্ষাপটে, ক্ষেত্রগুলির ধারণাটি একটি নতুন তাৎপর্য গ্রহণ করে, বিশেষ করে যখন আমরা ক্ষেত্রগুলির মধ্যে থাকা শক্তি এবং ভরবেগ বিবেচনা করি। ধ্রুপদী ক্ষেত্র তত্ত্ব, বিশেষ করে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম, বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের মতো ক্ষেত্রগুলিকে মৌলিক সত্তা হিসাবে বিবেচনা করে যা স্থান ভেদ করে এবং চার্জযুক্ত কণার মধ্যে শক্তির মধ্যস্থতা করে। আইনস্টাইন যখন আপেক্ষিকতার তত্ত্বটি বিকাশ করেছিলেন, তখন এই ক্ষেত্রগুলিকে শুধুমাত্র শক্তির বাহক হিসাবে দেখা যায়নি বরং এমন সত্তা হিসাবেও দেখা হয়েছিল যা তাদের নিজস্ব শক্তি এবং ভরবেগ ধারণ করে, বস্তুর গতিশীলতা এবং এমনকি স্থানকালের কাঠামোকেও প্রভাবিত করে।

বিশেষ আপেক্ষিকতায়, শক্তি এবং ভরবেগের ধারণাগুলি শক্তভাবে মিলিত হয়। পৃথক পরিমাণ হওয়ার পরিবর্তে, তারা একটি একক চার-মাত্রিক বস্তুর উপাদান যা শক্তি-মোমেন্টাম চার-ভেক্টর নামে পরিচিত। এই একীকরণ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। উদাহরণস্বরূপ, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের ক্ষেত্রে, শক্তি এবং ভরবেগ শুধুমাত্র জড়িত কণার বৈশিষ্ট্য নয় বরং পুরো ক্ষেত্রেই বিতরণ করা হয়। ক্ষেত্রটি শক্তি বহন করে, যা বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বকীয় উপাদানগুলিতে সংরক্ষণ করা যেতে পারে এবং এটি গতিও বহন করে, যার অর্থ এটি শক্তি প্রয়োগ করতে পারে এবং কণাগুলিতে শক্তি স্থানান্তর করতে পারে।

আপেক্ষিকতার সাথে ক্ষেত্রগুলিকে একত্রিত করার সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য ফলাফলগুলির মধ্যে একটি হল উপলব্ধি যে ক্ষেত্র এবং কণার মধ্যে শক্তি এবং ভরবেগ বিনিময় করা যেতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, একটি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক তরঙ্গে, যেমন আলো, শক্তি এবং ভরবেগ তরঙ্গ নিজেই স্থানের মধ্য দিয়ে বাহিত হয়, যদিও সেখানে কোনও কণা জড়িত নাও থাকতে পারে। এই শক্তি এমন বস্তুতে স্থানান্তর করা যেতে পারে যা

তরঙ্গ শোষণ করে। উদাহরণস্বরূপ, যখন সূর্যালোক একটি সৌর পালকে আঘাত করে, ফোটন দ্বারা বাহিত ভরবেগ পালটির বিরুদ্ধে ধাক্কা দেয়, যদিও ফোটনগুলি ভরহীন কণা। এটি দেখায় যে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের নিজেই এক ধরনের "জড়তা" রয়েছে কারণ এটি ভরবেগ স্থানান্তর করতে পারে এবং ভৌত বস্তুর উপর চাপ প্রয়োগ করতে পারে, একটি ঘটনা যা বিকিরণ চাপ নামে পরিচিত।

ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের শক্তির ঘনত্ব বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের শক্তির সংমিশ্রণ দ্বারা দেওয়া হয়। বিশেষত, শক্তি বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বক উভয় ক্ষেত্রেই সঞ্চিত হয় এবং ক্ষেত্রের মোট শক্তির ঘনত্ব ক্ষেত্রের শক্তির বর্গক্ষেত্রের সমানুপাতিক। এর মানে হল এমন অঞ্চলে যেখানে কোনও কণা নেই, ক্ষেত্রগুলি এখনও শক্তি ধারণ করে। একইভাবে, ক্ষেত্রের ভরবেগ ঘনত্ব বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে মিথস্ক্রিয়া সম্পর্কিত, এবং স্থানের মধ্য দিয়ে শক্তির প্রবাহকে Poynting ভেক্টর দ্বারা বর্ণনা করা হয়, যা ক্ষেত্রের প্রতি ইউনিট এলাকায় শক্তি স্থানান্তরের হারকে প্রতিনিধিত্ব করে।

সাধারণ আপেক্ষিকতায়, ক্ষেত্রের ভূমিকা আরও গভীর হয়ে ওঠে। এই তত্ত্বে, শক্তি এবং ভরবেগ কেবল কণা এবং ক্ষেত্রের বৈশিষ্ট্য নয়; তারা স্থানকালের খুব ফ্যাব্রিককে প্রভাবিত করে। আইনস্টাইনের ক্ষেত্র সমীকরণ অনুসারে, মহাবিশ্বে শক্তি এবং ভরবেগের বন্টন স্থানকালের বক্রতা নির্ধারণ করে। এর মানে হল যে ক্ষেত্রগুলি, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের মতো, স্পেসটাইমকে একইভাবে বাঁকতে পারে যেমন তারা এবং গ্রহের মতো বিশাল বস্তুগুলি করে। একটি ক্ষেত্র যত বেশি শক্তি ধারণ করে, এটি স্থানকালকে তত বেশি বিকৃত করে এবং এই বিকৃতি সেই স্থানকালের মধ্যে থাকা বস্তুর গতিকে প্রভাবিত করে।

উদাহরণস্বরূপ, মহাকাশে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক রেডিয়েশন, যেমন দূরবর্তী নক্ষত্র থেকে নির্গত আলোতে শক্তি এবং গতি থাকে যা স্থানকালের বক্রতাকে প্রভাবিত করতে পারে। যদিও প্রভাব সাধারণত খুব কম হয়, চরম পরিবেশে, যেমন ব্ল্যাক হোল বা নিউট্রন তারার কাছাকাছি, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের শক্তি সিস্টেমের গতিশীলতায় একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করতে পারে। এই প্রসঙ্গে, বিকিরণ দ্বারা বাহিত শক্তি এবং ভরবেগ মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের পরিবর্তন করতে পারে এবং পদার্থের গতিকে প্রভাবিত করতে পারে।

তদুপরি, সাধারণ আপেক্ষিকতায়, ক্ষেত্রগুলিতে শক্তি এবং ভরবেগের ধারণাটি কেবল ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রে সীমাবদ্ধ নয়। মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রগুলি নিজেরাই শক্তি এবং ভরবেগ বহন করে, যদিও এটিকে একটি সাধারণ আপেক্ষিক কাঠামোতে সুনির্দিষ্টভাবে সংজ্ঞায়িত করা স্থানকালের বক্রতার কারণে অনেক বেশি চ্যালেঞ্জিং। তবুও, শক্তি এবং ভরবেগকে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের জন্য দায়ী করা যেতে পারে, বিশেষ করে মহাকর্ষীয় তরঙ্গের আকারে। স্পেসটাইমে এই ঢেউগুলি, বিশাল বস্তুর হ্রস্বের কারণে সৃষ্ট, মহাবিশ্ব জুড়ে শক্তি বহন করে এবং তাদের সাম্প্রতিক সনাক্তকরণ ব্ল্যাক হোল একত্রিতকরণের মতো মহাজাগতিক ঘটনা পর্যবেক্ষণের জন্য নতুন উইন্ডো খুলে দিয়েছে।

সংক্ষেপে, আপেক্ষিকতা আমাদের ক্ষেত্রগুলির বোঝাকে আরও গভীর করে দেখায় যে তারা শক্তির নিষ্ক্রিয় বাহক নয় কিন্তু মহাবিশ্বের গতিশীলতায় সক্রিয় অংশগ্রহণকারী। ক্ষেত্রগুলি শক্তি এবং ভরবেগের অধিকারী, এবং তারা এই পরিমাণগুলিকে কণাতে স্থানান্তর করতে পারে, স্থানকালকে প্রভাবিত করতে পারে এবং এমনকি তরঙ্গ হিসাবে প্রচার করতে পারে। এই উপলব্ধির বিশেষ এবং সাধারণ আপেক্ষিকতা উভয়ের জন্যই গভীর প্রভাব রয়েছে, যা স্থানকালের কাঠামোর সাথে ক্ষেত্রের আচরণকে একীভূত করে এবং শক্তি, ভরবেগ এবং মহাজাগতিক কাঠামোর মধ্যে জটিল ইন্টারপ্লে প্রকাশ করে।

অধ্যায় ৪

পাথইন্টিগ্রাল ফর্মুলেশন

পাথ ইন্টিগ্রাল কি?

পাথ ইন্টিগ্রাল হল কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের একটি মৌলিক ধারণা যা একটি কণার এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে স্থানান্তরের সম্ভাব্যতা প্রশস্ততা গণনা করার একটি উপায় প্রদান করে। ক্লাসিক্যাল মেকানিক্সের বিপরীতে, যেখানে একটি কণার পথ সুনির্দিষ্টভাবে সংজ্ঞায়িত করা হয়, কোয়ান্টাম মেকানিক্স এই ধারণার অনুমতি দেয় যে একটি কণা একটি একক, নির্দিষ্ট পথ অনুসরণ করে না। পরিবর্তে, এটি এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে ভ্রমণ করতে অসীম সংখ্যক সম্ভাব্য পথ নিতে পারে। পদার্থবিজ্ঞানী রিচার্ড ফাইনম্যান দ্বারা প্রবর্তিত পাথ ইন্টিগ্রাল পদ্ধতি, একটি ঘটনার মোট সম্ভাব্যতা গণনা করার জন্য এই সমস্ত সম্ভাব্য পাথগুলিকে যোগ করে।

ক্লাসিক্যাল মেকানিক্সে, একটি কণার গতি সর্বনিম্ন কর্মের নীতি দ্বারা নির্ধারিত হয়, যা বলে যে একটি কণা সেই পথ অনুসরণ করে যা ক্রিয়াকে ছোট করে, সিস্টেমের শক্তির সাথে সম্পর্কিত একটি পরিমাণ। কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, তবে, কণাগুলি আরও সম্ভাব্য পদ্ধতিতে আচরণ করে। পাথ ইন্টিগ্রাল অ্যাপ্রোচ এই অনিশ্চয়তাকে প্রতিফলিত করে কণাটি গ্রহণ করতে পারে এমন প্রতিটি বোধগম্য পথ বিবেচনা করে, এমনকি অত্যন্ত অসম্ভব বা আপাতদৃষ্টিতে অদ্বুত। মোট সম্ভাব্যতার প্রতিটি পথের অবদান একটি জটিল সংখ্যা দ্বারা নির্ধারিত হয়, যাকে একটি সম্ভাব্যতা প্রশস্ততা বলা হয়, এবং পাথ অবিচ্ছেদ্য সমস্ত সম্ভাব্য পাথের উপর এই প্রশস্ততাগুলিকে যোগ করে।

গাণিতিকভাবে, পাথ ইন্টিগ্রাল সেই পাথ বরাবর কর্মের উপর ভিত্তি করে প্রতিটি সম্ভাব্য পথের জন্য একটি সম্ভাব্যতা প্রশস্ততা নির্ধারণ করে। ক্রিয়াটি এমন একটি ফাংশন যা সিস্টেমের গতিশীলতার উপর নির্ভর করে - সাধারণত কণার শক্তি, অবস্থান এবং বেগের মতো পরিমাণগুলি জড়িত - এবং প্রশস্ততাটি ক্রিয়াটির

সূচক দ্বারা দেওয়া হয় (কাল্পনিক এককের একটি ফ্যাক্টর দ্বারা গুণিত, "i," এবং প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, "h")। যখন এই প্রশস্ততাগুলি সমস্ত সম্ভাব্য পথের উপর যোগ করা হয়, ফলাফলটি কণাটির এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে যাওয়ার জন্য মোট সম্ভাব্যতা প্রশস্ততা দেয়।

পাথ ইন্টিগ্রাল পদ্ধতির একটি শক্তিশালী দিক হল কোয়ান্টাম সুপারপজিশনকে অন্তর্ভুক্ত করার ক্ষমতা। কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, সুপারপজিশনের নীতি বলে যে একটি সিস্টেম একই সাথে একাধিক অবস্থায় থাকতে পারে এবং মোট অবস্থা হল এই সম্ভাবনাগুলির একটি সমন্বয় (বা সুপারপজিশন)। পাথ ইন্টিগ্রাল ফ্রেমওয়ার্কে, সুপারপজিশন স্বাভাবিকভাবেই গণনার মধ্যে তৈরি করা হয়: কণাটি যে সমস্ত সম্ভাব্য পথ গ্রহণ করতে পারে তা সামগ্রিক সম্ভাব্যতার প্রশস্ততায় অবদান রাখে, কিছু পাথ একে অপরকে শক্তিশালী করে এবং অন্যগুলি হস্তক্ষেপের কারণে বাতিল হয়ে যায়। এই হস্তক্ষেপ কোয়ান্টাম সিস্টেমে দেখা যায় এমন বৈশিষ্ট্যযুক্ত তরঙ্গ-সদৃশ আচরণের দিকে পরিচালিত করে, যেমন বিখ্যাত ডাবল-স্লিট পরীক্ষায়।

পাথ ইন্টিগ্রাল পদ্ধতিটি কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরিতে ট্রানজিশনের সম্ভাব্যতা গণনা করার একটি উপায়ও প্রদান করে, যেখানে কণাগুলিকে বিচ্ছিন্ন বস্তু হিসাবে নয় বরং অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রগুলিতে উত্তেজনা হিসাবে বর্ণনা করা হয়। এই বৃহত্তর কাঠামোতে, পাথ অবিচ্ছেদ্য যোগফল শুধু কণা ট্র্যাজেক্টোরির উপর নয় বরং ক্ষেত্রের সমস্ত সম্ভাব্য কনফিগারেশনের উপর। উদাহরণস্বরূপ, একটি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের ক্ষেত্রে, পাথ ইন্টিগ্রালটি সময় এবং স্থানের দুটি বিন্দুর মধ্যে ক্ষেত্রটি বিবর্তিত হতে পারে এমন সমস্ত সম্ভাব্য উপায় বিবেচনা করবে।

পাথ ইন্টিগ্রাল ফর্মুলেশনের অন্যতম প্রধান বৈশিষ্ট্য হল যে এটি শ্রোডিঙ্গার সমীকরণের মতো অন্যান্য পদ্ধতির তুলনায় কোয়ান্টাম মেকানিক্সের আরও বেশি স্বজ্ঞাত উপলব্ধি প্রদান করে। এটি আমাদের কোয়ান্টাম প্রক্রিয়াগুলিকে সময়ের সাথে বিকশিত তরঙ্গ ফাংশনের উপর ফোকাস করার পরিবর্তে, পথের উপর সমষ্টি হিসাবে আরও চাঞ্চুশ উপায়ে চিন্তা করতে দেয়। অধিকন্তু, পাথ ইন্টিগ্রাল ফর্মুলেশন কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব বোঝার এবং বিকাশের জন্য অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ, যা কণা মিথস্ক্রিয়াগুলির স্ট্যান্ডার্ড মডেল সহ আধুনিক কণা পদার্থবিজ্ঞানের অনেক অংশকে আন্ডারপিন করে।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বে, পাথ ইন্টিগ্রালগুলি কণার মধ্যে বিভিন্ন মিথস্ক্রিয়া, যেমন ইলেকট্রনের বিচ্ছুরণ বা ফোটনের নির্গমনের সম্ভাব্যতা গণনার জন্য অপরিহার্য। ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম, প্রায়শই কণার মিথস্ক্রিয়া কল্পনা করতে ব্যবহৃত হয়, মূলত পাথ ইন্টিগ্রাল ক্যালকুলেশনে বিভিন্ন পদের একটি সচিত্র উপস্থাপনা। প্রতিটি ডায়াগ্রাম পথের একটি নির্দিষ্ট সেটের সাথে মিলে যায় এবং স্পেসটাইমের বিভিন্ন বিন্দুতে মিথস্ক্রিয়া সহ সম্ভাব্য সমস্ত ডায়াগ্রামের উপর পাথ অবিচ্ছেদ্য যোগফল।

পাথ ইন্টিগ্রাল পদ্ধতিটি কোয়ান্টাম টানেলিংয়ের মতো ঘটনা ব্যাখ্যা করার জন্যও ব্যবহৃত হয়, যেখানে একটি কণার একটি বাধা অতিক্রম করার একটি সীমিত সম্ভাবনা থাকে এমনকি যখন এটি করার জন্য পর্যাপ্ত শাস্ত্রীয় শক্তি না থাকে। পাথ ইন্টিগ্রাল ফ্রেমওয়ার্কে, টানেলিংকে বোঝানো হয় কণা গ্রহণের পথের ফলস্বরূপ যা বাধা অতিক্রম করে, এই অসম্ভাব্য পথগুলিকে টানেল করার সম্ভাবনার জন্য পাথ ইন্টিগ্রাল যোগ করে।

সংক্ষেপে, একটি পাথ ইন্টিগ্রাল হল কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের একটি গাণিতিক কাঠামো যা সমস্ত সম্ভাব্য পথ বা কনফিগারেশনের যোগফল একটি কণা বা ক্ষেত্র দুটি বিন্দুর মধ্যে স্থানান্তর করতে পারে। এটি কোয়ান্টাম সিস্টেমের অন্তর্নিহিত সম্ভাব্য এবং সুপারপজিশনাল প্রকৃতিকে প্রতিফলিত করে, যেখানে কোনও একক পথ নির্দিষ্ট নয় এবং সমস্ত সম্ভাব্য পথের যোগফল সামগ্রিক আচরণ নির্ধারণ করে।

ফাইনম্যানের অবদান

রিচার্ড ফাইনম্যান, ২০ শতকের অন্যতম প্রভাবশালী পদার্থবিজ্ঞানী, কোয়ান্টাম মেকানিক্স, কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডায়নামিক্স এবং কণা পদার্থবিদ্যা সহ বিভিন্ন ক্ষেত্রে যুগান্তকারী অবদান রেখেছেন। তার কাজ শুধুমাত্র বৈজ্ঞানিক ভিত্তির উল্লিখিত করেনি বরং পদার্থবিদদের জটিল সমস্যাগুলির দিকে যাওয়ার উপায়ও পরিবর্তন করেছে। ফাইনম্যানের সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য অবদানের মধ্যে রয়েছে কোয়ান্টাম মেকানিক্সের পাথ ইন্টিগ্রাল ফর্মুলেশনের বিকাশ, ফাইনম্যান ডায়াগ্রামের প্রবর্তন এবং কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডায়নামিক্সের (কিউইডি) নীতিতে তার অন্তর্দৃষ্টি।

১৯৪০-এর দশকে ফাইনম্যান দ্বারা প্রবর্তিত কোয়ান্টাম মেকানিক্সের পাথ ইন্টিগ্রাল ফর্মুলেশন ছিল প্রথাগত শ্রোডিঙ্গার সমীকরণ পদ্ধতি থেকে একটি আমূল প্রস্থান। এই সূত্রে, কণাগুলিকে একটি একক, সু-সংজ্ঞায়িত ট্র্যাজেক্টোরি অনুসরণ করার পরিবর্তে, ফাইনম্যান প্রস্তাব করেছিলেন যে কণা দুটি বিন্দুর মধ্যে সমস্ত সম্ভাব্য পথ অন্বেষণ করে। একটি কণার বিন্দু A থেকে B বিন্দুতে ভ্রমণের সম্ভাব্যতা প্রশস্ততা গণনা করা হয় সমস্ত অনুমানযোগ্য পথের অবদানের যোগফল দ্বারা, প্রতিটি সিস্টেমের ক্রিয়া সম্পর্কিত সূচকীয় ফ্যাক্টর দ্বারা ওজন করা হয়। এই পদ্ধতিটি কোয়ান্টাম আচরণের আরও স্বচ্ছতা উপলব্ধি প্রদান করে এবং বিভিন্ন কোয়ান্টাম ঘটনা যেমন হস্তক্ষেপ এবং সুপারপজিশনকে মোকাবেলা করার জন্য একটি ঐক্যবদ্ধ উপায়ের অনুমতি দেয়।

ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম, আরেকটি উল্লেখযোগ্য অবদান, কণার মিথস্ক্রিয়াকে কল্পনা এবং গণনা করার পদ্ধতিতে বিপ্লব ঘটিয়েছে। এই ডায়াগ্রামগুলি কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বে, বিশেষ করে QED-তে গাণিতিক অভিব্যক্তিগুলির একটি সচিত্র উপস্থাপনা হিসাবে কাজ করে। ফাইনম্যান ডায়াগ্রামে, কণাগুলিকে রেখা হিসাবে চিত্রিত করা হয়, যখন তাদের মিথস্ক্রিয়াগুলি শীর্ষবিন্দু দ্বারা উপস্থাপিত হয়। ডায়াগ্রামগুলি একাধিক মিথস্ক্রিয়া প্রক্রিয়াগুলির জন্য একটি গ্রাফিকাল উপায় প্রদান করে জটিল গণনাগুলিকে সরল করে, যা পদার্থবিদদের জন্য বিক্ষিপ্ত প্রশস্ততা গণনা করা এবং অন্তর্নিহিত পদার্থবিদ্যা বোঝা সহজ করে তোলে। ফাইনম্যান ডায়াগ্রামগুলি কণা পদার্থবিজ্ঞানের একটি আদর্শ হাতিয়ার হয়ে উঠেছে এবং উচ্চ-শক্তি পদার্থবিদ্যায় পরীক্ষার ফলাফলের পূর্বাভাস এবং ব্যাখ্যা করার ক্ষেত্রে সহায়ক হয়েছে।

কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডায়নামিক্সে, ফাইনম্যান তত্ত্বকে আনুষ্ঠানিককরণে একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করেছিলেন যা বর্ণনা করে যে কীভাবে আলো এবং বস্তুর মিথস্ক্রিয়া হয়। তিনি QED-এর জন্য একটি সামঞ্জস্যপূর্ণ এবং ব্যাপক কার্ঠামো তৈরি করতে জুলিয়ান শোইঙ্গার এবং সিন-ইতিরো টোমোনাগা-এর মতো অন্যান্য বিশিষ্ট পদার্থবিদদের সাথে কাজ করেছিলেন। QED-তে ফাইনম্যানের অবদানগুলি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফোর্সকে গভীরভাবে বোঝার দিকে পরিচালিত করেছিল এবং পারমাণবিক সিস্টেমে ইলেকট্রনের আচরণ এবং চার্জযুক্ত কণা দ্বারা আলোর বিচ্ছুরণ সহ বিস্তৃত ঘটনার জন্য সুনির্দিষ্ট ভবিষ্যদ্বাণী প্রদান করেছিল। এই কাজের জন্য ১৯৬৫ সালে ফাইনম্যানকে পদার্থবিজ্ঞানে নোবেল পুরস্কার দেয়া হয়, এই ক্ষেত্রে তার উত্তরাধিকার সুদৃঢ়তা প্রদান করে।

ফাইনম্যানের অবদান তাত্ত্বিক পদার্থবিদ্যার বাইরেও প্রসারিত; তিনি তার আকর্ষণীয় শিক্ষণ শৈলী এবং একটি সহজলভ্য পদ্ধতিতে জটিল ধারণাগুলিকে যোগাযোগ করার ক্ষমতার জন্যও পরিচিত ছিলেন। তার বক্তৃতা, বিশেষ করে বিখ্যাত "পদার্থবিজ্ঞানের ফাইনম্যান লেকচারস"-এ সংকলিত ছাত্র ও পদার্থবিদদের প্রজন্মকে অনুপ্রাণিত করেছে। তিনি বৈজ্ঞানিক অনুসন্ধানের অন্তর্দৃষ্টি এবং সৃজনশীলতার গুরুত্বের উপর জোর দিয়েছিলেন, সমীকরণ এবং তত্ত্বগুলির পিছনের শারীরিক নীতিগুলি সম্পর্কে গভীরভাবে চিন্তা করতে শিক্ষার্থীদের উৎসাহিত করেছিলেন।

কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং কণা পদার্থবিদ্যায় তার কাজের পাশাপাশি, ফাইনম্যান দ্বিতীয় বিশ্বযুদ্ধের সময় ম্যানহাটন প্রকল্পের অংশ হিসাবে পারমাণবিক বোমার বিকাশের সাথেও জড়িত ছিলেন। এই সময়ের মধ্যে তার অভিজ্ঞতাগুলি বৈজ্ঞানিক গবেষণার নৈতিক প্রভাব এবং সমাজে বিজ্ঞানীদের দায়িত্ব সম্পর্কে তার মতামতকে রূপ দেয়। যুদ্ধের পরে, ফাইনম্যান বিজ্ঞান শিক্ষা এবং বিজ্ঞানের জনসাধারণের বোঝার জন্য একজন স্পষ্টবাদী উকিল হয়ে ওঠেন, বিশ্বাস করেন যে পদার্থবিদ্যার জটিলতাগুলি একটি বিস্তৃত দর্শকদের কাছে বোধগম্য করা উচিত।

বিজ্ঞানের প্রতি তার দৃষ্টিভঙ্গির মধ্যে ফাইনম্যানের কৌতূহল ও উদ্দীপনা স্পষ্ট ছিল। সমস্যা সমাধানের জন্য তার বিখ্যাত দক্ষতা ছিল এবং প্রায়শই চ্যালেঞ্জ মোকাবেলায় অপ্রচলিত পদ্ধতিতে নিযুক্ত থাকতেন। এটি তরল হিলিয়ামের উপর তার কাজের উদাহরণ দেওয়া হয়েছে, যেখানে তিনি অতিতরলতার বৈশিষ্ট্যগুলি অন্বেষণ করেছেন এবং কোয়ান্টাম তরল বোঝার ক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ অবদান রেখেছেন। এই এলাকায় তার কাজ শুধুমাত্র ঘনীভূত পদার্থবিদ্যার উন্নত জ্ঞানই নয় বরং কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং ম্যাক্রোস্কোপিক ঘটনার মধ্যে আকর্ষণীয় ইন্টারপ্লেকেও তুলে ধরে।

তদুপরি, ফাইনম্যান নিরাপদ-ক্র্যাকিং, অঙ্কন এবং বঙ্গো ড্রাম বাজানো সহ পদার্থবিদ্যার বাইরে তার বিভিন্ন আগ্রহের জন্য পরিচিত ছিলেন। তার বিস্তৃত কৌতূহল এবং সৃজনশীল চেতনা তার বৈজ্ঞানিক কাজকে প্রভাবিত করেছিল, তাকে বিভিন্ন দৃষ্টিকোণ থেকে ধারণাগুলি অন্বেষণ করতে এবং জটিল সমস্যাগুলির জন্য অভিনব পন্থা বিবেচনা করতে নেতৃত্ব দেয়।

সংক্ষেপে, পদার্থবিজ্ঞানে রিচার্ড ফাইনম্যানের অবদানগুলি বিশাল এবং বৈচিত্র্যময়, যা কোয়ান্টাম মেকানিক্স, কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকস এবং কণা পদার্থবিদ্যার মৌলিক অগ্রগতিগুলিকে অন্তর্ভুক্ত করে। তার পাথ ইন্টিগ্রাল ফর্মুলেশন এবং ফাইনম্যান ডায়াগ্রামগুলি তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞানের ল্যান্ডস্কেপকে রূপান্তরিত করেছে, নতুন সরঞ্জাম এবং অন্তর্দৃষ্টি প্রদান করে যা আধুনিক গবেষণাকে রূপ দিতে চলেছে।

পাথ ইন্টিগ্রাল ব্যবহার করে কোয়ান্টাম সিস্টেমগুলি কীভাবে কল্পনা করা যায়

পাথ ইন্টিগ্রাল ব্যবহার করে কোয়ান্টাম সিস্টেমের ভিজ্যুয়ালাইজ করা কোয়ান্টাম জগতে কণা এবং ক্ষেত্রগুলির আচরণ বোঝার একটি অনন্য এবং অন্তর্দৃষ্টিপূর্ণ উপায়। ক্লাসিক্যাল মেকানিক্সে, যখন আমরা একটি কণার গতি বর্ণনা করতে চাই, তখন আমরা সাধারণত এটি একটি একক, সু-সংজ্ঞায়িত পথ গ্রহণ করার কল্পনা করি। উদাহরণস্বরূপ, যদি একটি বল এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে নিষ্ক্ষেপ করা হয়, আমরা এটিকে একটি প্যারাবোলিক চাপ অনুসরণ করে চিত্রিত করি। যাইহোক, কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, এই স্বত্ত্বাত ধারণা আর ধারণ করে না। একটি একক ট্র্যাজেক্টোরির পরিবর্তে, একটি কোয়ান্টাম কণা দুটি বিন্দুর মধ্যে ভ্রমণ করার জন্য অনেকগুলি ভিন্ন পথ নিতে পারে। রিচার্ড ফাইনম্যান দ্বারা প্রবর্তিত পাথ ইন্টিগ্রাল পদ্ধতি, এই সমস্ত সম্ভাব্য পাথগুলিকে সংক্ষেপ করে কোয়ান্টাম সিস্টেমের আচরণকে কল্পনা এবং গণনা করার একটি উপায় প্রদান করে।

এটি বোঝার জন্য, কল্পনা করুন একটি কণা মহাকাশে এক স্থান থেকে অন্য স্থানে ভ্রমণ করছে। শাস্ত্রীয় বিশ্বে, গতির নিয়ম দ্বারা নির্ধারিত শুধুমাত্র একটি "সঠিক" পথ রয়েছে। কোয়ান্টাম জগতে, যাইহোক, কণা শুধুমাত্র একটি পথ অনুসরণ করে না; এটি সমস্ত সম্ভাব্য রুটগুলি অন্বেষণ করে, এমনকি যেগুলি অযৌক্তিক বলে মনে হতে পারে। এটি পিছন পিছন জিজ্ঞাস্য করতে পারে, লুপ নিতে পারে বা এমন জায়গায় যেতে পারে যেখানে এটি সাধারণত যাওয়ার আশা করা যায় না। এই পথগুলির প্রতিটিই সামগ্রিক সম্ভাবনায় অবদান রাখে যে কণাটি তার গন্তব্যে শেষ হবে।

পাথ ইন্টিগ্রাল পদ্ধতির মূল ধারণাটি হল যে প্রতিটি সম্ভাব্য পথের একটি যুক্ত "সম্ভাব্যতা প্রশস্ততা" থাকে যা একটি জটিল সংখ্যা যা নির্দেশ করে যে নির্দিষ্ট পথটি চূড়ান্ত ফলাফলে কতটা অবদান রাখে। এই প্রশস্ততাগুলি প্রতিটি পথ বরাবর ক্রিয়া দ্বারা নির্ধারিত হয়, যা একটি পরিমাণ যা কণার শক্তি, অবস্থান এবং বেগের উপর নির্ভর করে। প্রতিটি পথের জন্য ক্রিয়াটি একটি সূচকীয় ফাংশনে প্লাগ করে প্রশস্ততা গণনা করতে ব্যবহৃত হয় যা কল্পিত একক ("i") এবং প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক ("h"), কোয়ান্টাম মেকানিক্সের একটি মৌলিক ধ্রুবক অন্তর্ভুক্ত করে।

কণাটি তার গন্তব্যে পৌঁছানোর মোট সম্ভাবনা খুঁজে পাওয়া যায় যে সমস্ত সম্ভাব্য পথের জন্য প্রশস্ততা যোগ করে। এই প্রক্রিয়াটি পাথ ইন্টিগ্রাল হিসাবে পরিচিত। যাইহোক, এটা মনে রাখা গুরুত্বপূর্ণ যে সমস্ত পথ সমানভাবে অবদান রাখে না। কিছু পথের প্রশস্ততা রয়েছে যা একে অপরকে শক্তিশালী করে, অন্যরা হস্তক্ষেপের কারণে বাতিল হয়ে যায়। এই বাতিলকরণ কোয়ান্টাম সিস্টেম বোঝার একটি গুরুত্বপূর্ণ অংশ। পথের মধ্যে হস্তক্ষেপ তরঙ্গ-কণা দ্বৈততার মতো ঘটনার দিকে পরিচালিত করে, যেখানে ইলেকট্রন বা ফোটনের মতো কণা পরিস্থিতির উপর নির্ভর করে কণার মতো এবং তরঙ্গের মতো আচরণ প্রদর্শন করে।

এটি কল্পনা করতে, বিখ্যাত ডাবল-স্লিট পরীক্ষাটি বিবেচনা করুন। আপনি যদি দুটি স্লিট সহ একটি স্ক্রিনে ইলেকট্রনের মতো কণাগুলিকে গুলি করেন, তবে তারা ডিটেক্টরে একটি হস্তক্ষেপের প্যাটার্ন তৈরি করে, অনেকটা জলের তরঙ্গের মতো। ক্লাসিক্যাল মেকানিক্সে, আমরা মনে করব যে প্রতিটি কণা এক বা অন্য স্লিটের মধ্য দিয়ে যায়। কিন্তু কোয়ান্টাম জগতে, পাথ ইন্টিগ্রাল আমাদের বলে যে কণাটি আসলে সমস্ত সম্ভাব্য পথ গ্রহণ করে। এটি একই সাথে উভয় স্লিটের মধ্য দিয়ে যায়, দুটি স্লিটের মধ্যে প্রতিটি সম্ভাব্য পথ অন্বেষণ করে এবং তারপরে এই পথগুলির প্রশস্ততা একে অপরের সাথে হস্তক্ষেপ করে, পর্যবেক্ষণ করা প্যাটার্ন তৈরি করে।

এটিকে চিত্রিত করার একটি উপায় হল কণাটি উৎস থেকে আবিষ্কারক পর্যন্ত নিতে পারে এমন প্রতিটি ধারণাযোগ্য পথ আঁকার কল্পনা করা। কিছু পথ এক বা অন্য স্লিট দিয়ে সোজা যেতে পারে, কিন্তু অন্যরা আশেপাশে লুপ করতে পারে, নিজেকে অতিক্রম করতে পারে, অথবা অবশেষে ডিটেক্টরে আঘাত করার আগে আপাতদৃষ্টিতে এলোমেলো দিক দিয়ে চলে যেতে পারে। এই পথগুলির প্রতিটি একটি ক্ষুদ্র প্রশস্ততা অবদান রাখে, এবং যখন আপনি সেগুলিকে যোগ করেন, তখন ফলাফল হস্তক্ষেপ ব্যাখ্যা করে যে কেন আমরা কিছু নির্দিষ্ট অঞ্চল দেখি যেখানে অনেক কণা আসে (গঠনমূলক হস্তক্ষেপ) এবং অন্যান্য অঞ্চল যেখানে অল্প বা কোন কণা আসে (ধ্বংসাত্মক হস্তক্ষেপ)।

পাথ ইন্টিগ্রাল অ্যাপ্রোচ আমাদের কোয়ান্টাম টানেলিং বুঝতে সাহায্য করে, আরেকটি ঘটনা যা ক্লাসিক্যাল ফিজিক্সে অসম্ভব বলে মনে হয়। টানেলিং-এ, একটি কণার একটি সম্ভাব্য বাধা অতিক্রম করার একটি সীমিত সম্ভাবনা রয়েছে, এমনকি ক্লাসিক্যাল মেকানিক্স অনুসারে এটি করার জন্য যথেষ্ট শক্তি না থাকলেও। পাথ ইন্টিগ্রাল ছবিতে, কণাটি এমন পথ নিতে পারে যা বাধার মধ্য দিয়ে যেতে পারে, যদিও সেগুলিকে শাস্ত্রীয় পরিভাষায় অসম্ভাব্য বা "নিষিদ্ধ" মনে হয়। এই টানেলিং পাথগুলি সহ সমস্ত সম্ভাব্য পথের যোগফল কণাটির বাধার অপর দিকে শেষ হওয়ার জন্য একটি শূন্য সম্ভাবনা দেয় না।

এই ভিজ্যুয়ালাইজেশন কৌশলটি কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বেও কার্যকর, যেখানে কণাগুলিকে স্বতন্ত্র সত্তা হিসাবে দেখা হয় না কিন্তু অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রগুলিতে উত্তেজনা হিসাবে দেখা হয়। এই ক্ষেত্রে, পাথ ইন্টিগ্রাল ফিল্ডের সমস্ত সম্ভাব্য কনফিগারেশনের উপর যোগ করে, শুধুমাত্র পৃথক কণার পাথ নয়। উদাহরণস্বরূপ, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের ক্ষেত্রে, পাথ ইন্টিগ্রাল প্রতিটি সম্ভাব্য উপায় বিবেচনা করবে যে ক্ষেত্রটি সময় এবং স্থানের দুটি বিন্দুর মধ্যে বিবর্তিত হতে পারে। এটি বিভিন্ন মিথস্ক্রিয়া, যেমন ইলেকট্রনের বিচ্ছুরণ বা ফোটনের নিগমনের জন্য সম্ভাব্যতা গণনার অনুমতি দেয়।

ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম, যা একটি ভিজ্যুয়াল টুল যা প্রায়শই কণা পদার্থবিদ্যায় ব্যবহৃত হয়, পাথ ইন্টিগ্রালের নির্দিষ্ট পথগুলিকে প্রতিনিধিত্ব করার একটি উপায় হিসাবে দেখা যেতে পারে। প্রতিটি ডায়াগ্রাম একটি নির্দিষ্ট মিথস্ক্রিয়া বা কণার মধ্যে মিথস্ক্রিয়া সেটের সাথে মিলে যায়। উদাহরণস্বরূপ, একটি ইলেক্ট্রন একটি ফোটন নির্গত বা শোষণ করতে পারে, এবং ফাইনম্যান চিত্রটি এই প্রক্রিয়াটির একটি সাধারণ চিত্র প্রদান করে। এই ধরনের সমস্ত ডায়াগ্রামের উপর পাথ অবিচ্ছেদ্য যোগফল, মিথস্ক্রিয়াটি উদ্ঘাটিত হতে পারে এমন প্রতিটি সম্ভাব্য উপায়ের জন্য হিসাব করে।

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বে, একাধিক কণা এবং ক্ষেত্রগুলির মধ্যে মিথস্ক্রিয়া মোকাবেলা করার সময় পাথ ইন্টিগ্রাল ফ্রেমওয়ার্ক আরও শক্তিশালী হয়ে ওঠে। এটি পদার্থবিদদের বিক্ষিপ্ত প্রশস্ততা গণনা করতে, উচ্চ-শক্তির সংঘর্ষে কণার আচরণের পূর্বাভাস দিতে এবং মহাবিশ্বকে পরিচালনা করে এমন মৌলিক মিথস্ক্রিয়াগুলি অন্বেষণ করতে দেয়। এই গণনাগুলি কেবল কণার গতিপথ নয় বরং ক্ষেত্র কনফিগারেশনের উপরও সারসংক্ষেপের উপর নির্ভর করে, যা কোয়ান্টাম বিশ্বকে এর সবচেয়ে মৌলিক স্তরে বোঝার জন্য পথটিকে অবিচ্ছেদ্য পদ্ধতির অপরিহার্য করে তোলে।

সংক্ষেপে, পাথ ইন্টিগ্রাল ব্যবহার করে কোয়ান্টাম সিস্টেমের ভিজ্যুয়ালাইজ করা একটি গভীরভাবে স্বত্ত্বাত এবং শক্তিশালী উপায় প্রদান করে যাতে কোয়ান্টাম রাজ্যে কণা কীভাবে আচরণ করে। একটি কণা যে সমস্ত সম্ভাব্য পথ গ্রহণ করতে পারে এবং তাদের অবদানের সংক্ষিপ্তসার বিবেচনা করে, পাথ ইন্টিগ্রাল ফ্রেমওয়ার্ক কোয়ান্টাম সিস্টেমের সম্ভাব্যতা এবং তরঙ্গ-সদৃশ প্রকৃতিকে ক্যাপচার করে। এটি বিভিন্ন পাথের মধ্যে জটিল ইন্টারপলে প্রকাশ করে, যা আমাদের কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বে হস্তক্ষেপ, টানেলিং এবং কণার মিথস্ক্রিয়াগুলির মত ঘটনা ব্যাখ্যা করতে দেয়। এই পদ্ধতিটি কোয়ান্টাম মেকানিক্সের একটি ঐক্যবদ্ধ চিত্র প্রদান করে, যেখানে কোয়ান্টাম জগতের অনিশ্চয়তা এবং সমৃদ্ধি সম্পূর্ণরূপে গ্রহণ করা হয়।

কোয়ান্টাম মেকানিক্স থেকে ফিল্ড থিওরি পর্যন্ত

কোয়ান্টাম মেকানিক্স থেকে ফিল্ড থিওরিতে রূপান্তর আমরা কীভাবে কণা এবং শক্তির মৌলিক প্রকৃতি বুঝতে পারি তার একটি গভীর পরিবর্তনকে চিহ্নিত করে। কোয়ান্টাম মেকানিক্স, তত্ত্ব যা মাইক্রোস্কোপিক স্কেলে কণার আচরণ বর্ণনা করে, ইলেকট্রন, ফোটন এবং পরমাণুর মতো পৃথক কণার সাথে কাজ করে। এটি এই কণাগুলি কীভাবে নড়াচড়া করে, ইন্টারঅ্যাক্ট করে এবং সুপারপজিশনের রাজ্যে বিদ্যমান তার উপর ফোকাস করে, বিখ্যাত তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা এবং অনিশ্চয়তার নীতিগুলির জন্য অনুমতি দেয়। কিন্তু কোয়ান্টাম মেকানিক্স একটি নির্দিষ্ট সংখ্যক কণা সহ সিস্টেমের মধ্যে সীমাবদ্ধ, প্রতিটিতে অবস্থান এবং ভরবেগের মতো সু-সংজ্ঞায়িত বৈশিষ্ট্য রয়েছে। আমরা যখন আরও জটিল মিথস্ক্রিয়াগুলি অন্বেষণ করি, বিশেষত যেগুলি উচ্চ-শক্তির কণা এবং ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম বা মহাকর্ষের মতো বল জড়িত, কোয়ান্টাম মেকানিক্স তার সীমাবদ্ধতা দেখাতে শুরু করে। এখানেই কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব (QFT) প্রবেশ করে।

কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি কোয়ান্টাম মেকানিক্সের নীতির উপর ভিত্তি করে তৈরি করে কিন্তু সেগুলোকে একটি বিস্তৃত কাঠামোতে প্রসারিত করে। QFT-এ, কণাগুলিকে আর নির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্য সহ স্বতন্ত্র, পৃথক সত্তা হিসাবে দেখা যায় না। পরিবর্তে, এগুলি অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রগুলির উত্তেজনা যা সমস্ত স্থান এবং সময়কে ছড়িয়ে দেয়। ইলেকট্রন থেকে কোয়ার্ক পর্যন্ত প্রতিটি মৌলিক কণা একটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্রের সাথে মিলে যায়। ইলেক্ট্রন হল ইলেকট্রন ক্ষেত্রের একটি উত্তেজনা, ঠিক যেমন ফোটনগুলি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের উত্তেজনা। এর মানে হল যে আমরা কণা হিসাবে যা বুঝতে পারি তা আসলে এই কোয়ান্টাম ক্ষেত্রের স্থানীয় তরঙ্গ বা ব্যাঘাত।

QFT এর পথটি কণা সৃষ্টি এবং বিনাশ বর্ণনা করার প্রয়োজনীয়তার সাথে শুরু হয়। কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, একটি সিস্টেমে কণার সংখ্যা সাধারণত স্থির থাকে। যাইহোক, প্রকৃতিতে পরিলক্ষিত অনেক

প্রক্রিয়ায়, যেমন উচ্চ-শক্তির সংঘর্ষ বা তেজস্ক্রিয় ক্ষয়, কণা তৈরি বা ধ্বংস হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, যখন বিশুদ্ধ শক্তি থেকে একটি কণা-অ্যান্টি পার্টিকেল জোড়া তৈরি করা হয়, তখন কোয়ান্টাম মেকানিক্সের কাছে এই প্রক্রিয়াটি বর্ণনা করার সরঞ্জাম নেই। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বে, এই ঘটনাগুলি স্বাভাবিকভাবে অন্তর্ভুক্ত করা হয়। যে ক্ষেত্রগুলি স্থান পূরণ করে সেগুলি কণা তৈরি করতে এবং তাদের শোষণ করতে সক্ষম, যা আমাদের আরও নির্ভুলতার সাথে জোড়া উত্পাদন, বিক্ষিপ্তকরণ এবং কণার ক্ষয়ের মতো প্রক্রিয়াগুলি বর্ণনা করতে দেয়।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের মূল ধারণাগুলির মধ্যে একটি হল এই ধারণা যে সমস্ত কণা, এমনকি যেগুলিকে আমরা সাধারণত "খালি" স্থান বলে মনে করি, তারা একটি ধ্রুবক ওঠানামা অবস্থায় রয়েছে। এই ক্ষেত্রগুলি সত্যিই বিশ্রামে থাকে না। পরিবর্তে, কোয়ান্টাম অনিশ্চয়তার নীতির কারণে তারা ক্রমাগত ওঠানামা করছে। এর মানে হল যে কণাগুলি সংক্ষিপ্তভাবে উপস্থিত হতে পারে এবং অদৃশ্য হয়ে যেতে পারে, এমনকি স্থানের শূন্যতায়, ভ্যাকুয়াম ওঠানামা নামে পরিচিত একটি প্রক্রিয়াতে। এই ওঠানামাগুলি ভার্চুয়াল কণার জন্ম দেয়, যা প্রকৃত কণার মধ্যে মধ্যস্থতাকারী শক্তিতে একটি অপরিহার্য ভূমিকা পালন করে। উদাহরণস্বরূপ, দুটি ইলেকট্রনের মধ্যে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফোর্সকে QFT-এ বোঝা যায় ভার্চুয়াল ফোটন দ্বারা মধ্যস্থতা করা হয়, যা ইলেকট্রনের মধ্যে বিনিময় হয়।

QFT-এর আরেকটি মূল ধারণা হল প্রতিসাম্যের ধারণা এবং এটি কীভাবে কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির আচরণকে নিয়ন্ত্রণ করে। ক্ষেত্র তত্ত্বের প্রতিসাম্যগুলি সংরক্ষণ আইনের সাথে যুক্ত, অনেকটা শাস্ত্রীয় পদার্থবিজ্ঞানের মতো। উদাহরণস্বরূপ, অনুবাদের অধীনে স্থানের প্রতিসাম্য (অর্থাৎ পদার্থবিজ্ঞানের নিয়মগুলি পরিবর্তন হয় না যদি আপনি একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে সবকিছু স্থানান্তরিত করেন) ভরবেগের সংরক্ষণের সাথে মিলে যায়। যাইহোক, ক্ষেত্র তত্ত্বে, এই প্রতিসাম্যগুলিকে আরও বিমূর্ত ধরনের প্রতিসাম্য অন্তর্ভুক্ত করার জন্য প্রসারিত করা হয়, যেমন গেজ প্রতিসাম্য। গেজ প্রতিসাম্য প্রকৃতির মৌলিক শক্তির অন্তর্নিহিত - তড়িৎ চৌম্বকীয়, দুর্বল এবং শক্তিশালী মিথস্ক্রিয়া। কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকস (কিউইডি), কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব বর্ণনা করে যে আলো এবং পদার্থ কীভাবে মিথস্ক্রিয়া করে, তা গেজ প্রতিসাম্যের উপর ভিত্তি করে এবং ব্যাখ্যা করে যে কীভাবে ফোটন (আলোর কণা) তড়িৎ চৌম্বকীয় শক্তির মধ্যস্থতা করে।

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের বৈপ্লবিক দিকগুলির মধ্যে একটি হল বিশেষ আপেক্ষিকতার তত্ত্বের সাথে কোয়ান্টাম মেকানিক্সের নীতিগুলিকে একত্রিত করার ক্ষমতা। আপেক্ষিকতা দেখায় যে স্থান এবং সময় একে অপরের সাথে জড়িত, এবং বিভিন্ন স্থানে বা সময়ে ঘটে যাওয়া ঘটনাগুলি পর্যবেক্ষকের উপর নির্ভর করে আপেক্ষিক। কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, কণা এবং তাদের অবস্থাগুলি সময়ের সাথে বিকশিত তরঙ্গ ফাংশনের পরিপ্রেক্ষিতে বর্ণনা করা হয়, কিন্তু এই ছবিতে আপেক্ষিকতা অন্তর্ভুক্ত করা চ্যালেঞ্জিং। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব স্থান এবং সময়কে সমানভাবে বিবেচনা করে এবং কণাকে ক্ষেত্র উত্তেজনা হিসাবে বর্ণনা করে যা স্থানকালের প্রতিসাম্যকে সম্মান করে তা সমাধান করে।

ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম, QFT-এর একটি অপরিহার্য হাতিয়ার, কণার মিথস্ক্রিয়াগুলির একটি চাক্ষুষ উপস্থাপনা প্রদান করে। প্রতিটি ডায়াগ্রাম একটি নির্দিষ্ট প্রক্রিয়ার প্রতিনিধিত্ব করে, যেমন কণা একে অপরকে বিক্ষিপ্ত করে, একটি ভার্চুয়াল কণা বিনিময় করে, বা বিভিন্ন কণাতে রূপান্তরিত হয়। এই ডায়াগ্রামগুলি বিভিন্ন মিথস্ক্রিয়াগুলির সম্ভাব্যতা গণনা করতে ব্যবহৃত জটিল গাণিতিক অভিব্যক্তিগুলিকে সরল করে। তারা উচ্চ-শক্তি পরীক্ষায় কণা সংঘর্ষের ফলাফলের পূর্বাভাস দিতে বিশেষভাবে কার্যকর, যেমন লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডার (LHC) এর মতো কণা ধ্বংসকারীতে পরিচালিত।

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের বিকাশের সাথে সাথে এটি প্রকৃতির মৌলিক শক্তিগুলির গভীর অন্তর্দৃষ্টির দিকে পরিচালিত করে। কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকস (QED) ছিল প্রথম সম্পূর্ণ কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব, এবং এটি অবিশ্বাস্য নির্ভুলতার সাথে চার্জযুক্ত কণা এবং ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের মধ্যে মিথস্ক্রিয়া বর্ণনা করে।

QED-এর সাফল্য অন্যান্য ক্ষেত্রের তত্ত্বগুলির বিকাশের পথ তৈরি করে, যেমন কোয়ান্টাম ক্রোমোডাইনামিকস (QCD), যা শক্তিশালী পারমাণবিক বলকে বর্ণনা করে যা প্রোটন এবং নিউট্রনের ভিতরে কোয়ার্ককে একত্রে আবদ্ধ করে। উপরন্তু, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক এবং দুর্বল পারমাণবিক শক্তির একীকরণ ইলেক্ট্রোওয়েক তত্ত্বের মধ্যে ছিল কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের একটি বড় জয়, যা কণা পদার্থবিদ্যার স্ট্যান্ডার্ড মডেলের দিকে নিয়ে যায়।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের উপর ভিত্তি করে স্ট্যান্ডার্ড মডেল, পরিচিত প্রাথমিক কণা এবং তড়িৎ চৌম্বকীয়, দুর্বল এবং শক্তিশালী বলের মাধ্যমে তাদের মিথস্ক্রিয়া বর্ণনা করে। এটি ক্ষুদ্রতম স্কেলে পদার্থ এবং শক্তির আচরণ বোঝার জন্য একটি ব্যাপক কাঠামো প্রদান করে। এলএইচসি-তে 2012 সালে হিগস বোসন আবিষ্কার স্ট্যান্ডার্ড মডেলের একটি মূল ভবিষ্যদ্বাণী নিশ্চিত করেছে, যেখানে হিগস ক্ষেত্র কণাদের সাথে তার মিথস্ক্রিয়াগুলির মাধ্যমে ভর দেয়।

এর সাফল্য সত্ত্বেও, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব তার চ্যালেঞ্জ ছাড়া নয়। প্রধান অমীমাংসিত সমস্যাগুলির মধ্যে একটি হল কাঠামোর মধ্যে মাধ্যাকর্ষণকে অন্তর্ভুক্ত করা। যদিও QFT সফলভাবে চারটি মৌলিক শক্তির তিনটিকে বর্ণনা করে, মাধ্যাকর্ষণ অধরা থেকে যায়। সাধারণ আপেক্ষিকতার তত্ত্ব, যা মহাকর্ষকে ভর এবং শক্তি দ্বারা সৃষ্ট স্থানকালের বক্রতা হিসাবে বর্ণনা করে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব থেকে মৌলিকভাবে আলাদা। এই দুটি তত্ত্বকে একক, ইউনিফাইড ফ্রেমওয়ার্ক-এ প্রায়ই কোয়ান্টাম মাধ্যাকর্ষণ হিসাবে উল্লেখ করা-আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য চ্যালেঞ্জগুলির মধ্যে একটি।

সংক্ষেপে, কোয়ান্টাম মেকানিক্স থেকে ফিল্ড থিওরিতে রূপান্তরের সাথে দৃষ্টিভঙ্গির পরিবর্তন জড়িত, যেখানে কণাগুলিকে পৃথক সত্তা হিসাবে নয় বরং অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রগুলির উত্তেজনা হিসাবে দেখা হয়। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব কণার সৃষ্টি এবং বিনাশ, তাদের মিথস্ক্রিয়া মধ্যস্থতাকারী শক্তি এবং আপেক্ষিকতার সাথে কোয়ান্টাম মেকানিক্সের একীকরণ বর্ণনা করার জন্য সরঞ্জাম সরবরাহ করে। এটি কোয়ান্টাম বিশ্ব সম্পর্কে আমাদের বোঝার পরিবর্তন করেছে, মৌলিক কণা এবং শক্তির আচরণ ব্যাখ্যা করার জন্য একটি কাঠামো প্রদান করে এবং আধুনিক কণা পদার্থবিজ্ঞানের ভিত্তি হিসাবে কাজ করে।

অধ্যায় ৫

কণার কোয়ান্টাম ক্ষেত্র

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র কি?

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি হল মৌলিক সত্ত্বা যা মহাবিশ্বের অন্তর্গত কাঠামো প্রদান করে যেখানে সমস্ত কণা এবং শক্তি বিদ্যমান। শাস্ত্রীয় পদার্থবিজ্ঞানে, আমরা প্রায়শই কণাকে মার্বেলের মতো ক্ষুদ্র, বিচ্ছিন্ন বস্তু হিসেবে ভাবি, যেখানে অবস্থান এবং ভরবেগের মতো সুনির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্য রয়েছে। কিন্তু কোয়ান্টাম জগতে এই ছবি অসম্পূর্ণ। এর পরিবর্তে, ক্ষেত্রগুলির ধারণা - অবিচ্ছিন্ন সত্তা যা স্থান এবং সময় জুড়ে বিস্তৃত - অপরিহার্য হয়ে ওঠে। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব (QFT), যা কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির জন্য তাত্ত্বিক কাঠামো, আমাদের দেখায় যে কণাগুলি একক বস্তু নয়, বরং এই ক্ষেত্রগুলির প্রকাশ বা উত্তেজনা।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি বোঝার জন্য, কল্পনা করুন যে স্থানটি খালি নয় বরং বিভিন্ন ক্ষেত্রে ভরা, প্রতিটি নির্দিষ্ট ধরনের কণার সাথে যুক্ত। উদাহরণস্বরূপ, ইলেকট্রন ক্ষেত্র, ফোটন (বা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক) ক্ষেত্র, হিগস ক্ষেত্র এবং আরও অনেক কিছু রয়েছে। প্রকৃতিতে আমরা যে সব ধরনের কণা দেখি তা ভিন্ন ক্ষেত্রের সাথে মিলে যায়। যখন আমরা একটি ইলেক্ট্রন শনাক্ত করি, তখন আমরা যা দেখছি তা হল ইলেক্ট্রন ক্ষেত্রের একটি স্থানীয় তরঙ্গ বা ব্যাঘাত। এই লহরটি স্থানের মধ্য দিয়ে চলে এবং অন্যান্য ক্ষেত্রগুলির সাথে যোগাযোগ করে, আমাদের সেই আচরণগুলি দেয় যা আমরা কণার সাথে যুক্ত করি। ফোটন, যেগুলি আলোর কণা, তা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের উত্তেজনা, এবং অন্যান্য ক্ষেত্রের অনুরূপ ব্যাঘাত প্রকৃতির বিভিন্ন মৌলিক কণার জন্ম দেয়।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি ক্লাসিক্যাল ক্ষেত্রগুলির মতো নয় যার সাথে আপনি পরিচিত হতে পারেন, যেমন মহাকর্ষীয় বা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্র, যা বস্তুর উপর কাজ করে এমন শক্তি বর্ণনা করে। QFT-এ, এই ক্ষেত্রগুলি সহজাতভাবে কোয়ান্টাম, যার অর্থ তারা কণার মতো এবং তরঙ্গের মতো বৈশিষ্ট্য উভয়ই প্রদর্শন করে এবং তারা কোয়ান্টাম মেকানিক্সের অদ্ভুত নিয়ম মেনে চলে। কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির মূল বৈশিষ্ট্যগুলির মধ্যে একটি হল যে আমরা একটি নিখুঁত ভ্যাকুয়াম বিবেচনা করব। তাতেও তারা ওঠানামা করবে। এর অর্থ হল তথাকথিত "খালি স্থান" কখনই সত্যিকার অর্থে খালি থাকে না। এমনকি যখন কোন কণা উপস্থিত বলে মনে হয় না, ক্ষেত্রগুলি এখনও সেখানে রয়েছে, কোয়ান্টাম অনিশ্চয়তার কারণে ক্রমাগত ওঠানামা করছে। এই ওঠানামাগুলি ভার্চুয়াল কণার জন্ম দিতে পারে, যা মুহূর্তের মধ্যে উপস্থিত এবং অদৃশ্য হয়ে যায়, বাস্তব কণার আচরণকে প্রভাবিত করে এবং ক্যাসিমির প্রভাবের মতো পর্যবেক্ষণযোগ্য প্রভাবগুলিতে অবদান রাখে, যেখানে কোয়ান্টাম ভ্যাকুয়াম ওঠানামার কারণে দুটি আনচার্জড প্লেটের মধ্যে একটি পরিমাপযোগ্য বল তৈরি হয়।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির ধারণা মৌলিকভাবে পরিবর্তন করে যে আমরা কণা সম্পর্কে চিন্তা করি। শাস্ত্রীয় পদার্থবিজ্ঞানে, একটি কণা একটি নির্দিষ্ট অবস্থান, বেগ এবং ভর সহ একটি পৃথক বস্তু। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বে, যাইহোক, কণাগুলি একটি অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রের উত্তেজনার মতো। একটি উপমা ব্যবহার করতে, একটি পুকুরের পৃষ্ঠের কথা চিন্তা করুন। আপনি যখন জলে একটি নুড়ি ফেলে দেন, তখন আঘাতের বিন্দু থেকে ঢেউ ছড়িয়ে পড়ে। এই ঢেউগুলি জলের উত্তেজনার প্রতিনিধিত্ব করে, কিন্তু জল নিজেই অন্তর্নিহিত মাধ্যম থেকে যায়। একইভাবে, একটি কণা একটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্রে একটি লহরের মত। ক্ষেত্রটি নিজেই সমস্ত স্থান জুড়ে রয়েছে, এবং লহর হল একটি স্থানীয় উত্তেজনা যা একটি কণার মতো আচরণ করে।

প্রতিটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্র নির্দিষ্ট আইন মেনে চলে যা নির্ধারণ করে যে এটি কীভাবে বিবর্তিত হয় এবং অন্যান্য ক্ষেত্রের সাথে ইন্টারঅ্যাক্ট করে। এই আইনগুলি কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং আপেক্ষিকতার প্রতিসাম্য এবং নীতি দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। উদাহরণস্বরূপ, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড শাস্ত্রীয় পদার্থবিজ্ঞানে ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণগুলি মেনে চলে, কিন্তু QFT-তে, এটি কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকস (QED) দ্বারা বর্ণনা করা হয়েছে, যা এর কোয়ান্টাম প্রকৃতির জন্য দায়ী। QED হল সবচেয়ে সফল কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বগুলির মধ্যে একটি, যা আলো এবং চার্জযুক্ত কণার আচরণ সম্পর্কে অবিশ্বাস্যভাবে সুনির্দিষ্ট ভবিষ্যদ্বাণী প্রদান করে। আরেকটি উদাহরণ হল হিগস ক্ষেত্র, যা কণাকে তাদের ভর দিতে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। ২০১২ সালে, লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডারে হিগস বোসনের আবিষ্কার এই ক্ষেত্রের অস্তিত্ব নিশ্চিত করে, কণা পদার্থবিজ্ঞানের স্ট্যান্ডার্ড মডেলের একটি প্রধান অংশ সম্পূর্ণ করে।

কণার মধ্যে মিথস্ক্রিয়াগুলি ক্ষেত্রের মধ্যে মিথস্ক্রিয়া হিসাবেও বোঝা যায়। ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বলের কারণে যখন দুটি ইলেকট্রন একে অপরকে বিকর্ষণ করে, তখন কোয়ান্টাম স্তরে যা ঘটছে তা হল ইলেকট্রন ক্ষেত্রের মধ্যে ভার্চুয়াল ফোটনের বিনিময়। এই ভার্চুয়াল ফোটনগুলি সরাসরি পর্যবেক্ষণযোগ্য নয়, তবে তারা বলকে মধ্যস্থতা করে, যার ফলে ইলেকট্রনগুলি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বিকর্ষণ অনুভব করে। একইভাবে, শক্তিশালী পারমাণবিক বল, যা পারমাণবিক নিউক্লিয়াসকে একত্রে ধারণ করে, কোয়ান্টাম ক্রোমোডাইনামিক্স (QCD) নামে পরিচিত একটি তত্ত্বে কোয়ার্ক ক্ষেত্রগুলির মধ্যে গ্লুয়নের বিনিময়ের মাধ্যমে মধ্যস্থতা করে।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের আরেকটি মূল ধারণা হল যে, ক্ষেত্রগুলি স্থির নয়। তাদের পরিমাপ করা যেতে পারে, যার অর্থ তাদের উত্তেজনা বিচ্ছিন্ন পরিমাণে ঘটে। এই পরিমাপকরণের কারণেই আমরা সম্ভাবনার অবিচ্ছিন্ন বর্ণালী না করে নির্দিষ্ট ভর এবং শক্তি সহ কণা পর্যবেক্ষণ করি। উদাহরণস্বরূপ, একটি ইলেক্ট্রন শুধুমাত্র একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তির সাথে বিদ্যমান থাকতে পারে এবং শক্তির মাত্রাগুলি ইলেকট্রন ক্ষেত্রের অন্তর্নিহিত বৈশিষ্ট্য দ্বারা নির্ধারিত হয়। এই বিচ্ছিন্নতা স্বাভাবিকভাবেই কোয়ান্টাম মেকানিক্সের গণিত থেকে উদ্ভূত হয়, যা ক্ষেত্রগুলি কীভাবে আচরণ করতে পারে তার উপর বিধিনিষেধ আরোপ করে।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব থেকে একটি উল্লেখযোগ্য অন্তর্দৃষ্টি হল যে কণা তৈরি এবং ধ্বংস করা যেতে পারে। শাস্ত্রীয় মেকানিক্সে, কণাগুলি সংরক্ষিত থাকে - উদাহরণস্বরূপ, একটি ইলেকট্রন একটি ইলেকট্রন থেকে যায় যদি না এটি কোনো ধরনের রূপান্তরের মধ্য দিয়ে যায়। কিন্তু QFT-এ, একটি সিস্টেমে কণার সংখ্যা তাদের ক্ষেত্রের মিথস্ক্রিয়ার কারণে পরিবর্তিত হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, একটি উচ্চ-শক্তি ফোটন জোড়া উৎপাদন নামক একটি প্রক্রিয়ার মাধ্যমে একটি ইলেকট্রন-পজিট্রন জোড়া তৈরি করতে পারে। একইভাবে, যখন কণাগুলি উচ্চ শক্তিতে সংঘর্ষ হয়, তখন তারা সম্পূর্ণ নতুন কণার জন্ম দিতে পারে যা প্রাথমিক অবস্থায় উপস্থিত ছিল না। এই প্রক্রিয়াটি আমরা কণা ধ্বংসগুলিতে পর্যবেক্ষণ করি, যেখানে উচ্চ শক্তিতে কণাগুলিকে একত্রে ভেঙে ফেলার ফলে নতুন কণার ঝরনা তৈরি হয় যা তারপরে সনাক্ত এবং অধ্যয়ন করা যেতে পারে।

ক্ষেত্রগুলি শক্তি এবং ভরবেগও বহন করে এবং এই পরিমাণগুলি ক্ষেত্রগুলির মিথস্ক্রিয়াগুলির মাধ্যমে সংরক্ষণ করা হয়। একটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্রে সঞ্চিত শক্তি কণার সৃষ্টি হিসাবে প্রকাশ করতে পারে, এবং ক্ষেত্রগুলির মধ্যে ভরবেগের স্থানান্তর ব্যাখ্যা করে যে কীভাবে শক্তিগুলি স্থান জুড়ে প্রেরণ করা হয়। প্রকৃতির মৌলিক শক্তিগুলি বোঝার জন্য কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব অপরিহার্য কারণগুলির মধ্যে এটি একটি। এটি কোয়ান্টাম মেকানিক্সকে বিশেষ আপেক্ষিকতার সাথে একত্রিত করার জন্য একটি কাঠামো প্রদান করে, এটি নিশ্চিত করে যে পদার্থবিজ্ঞানের নিয়মগুলি আলোর গতিতে বা এর কাছাকাছি গতিশীল কণাগুলির জন্য সত্য হয়।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের শক্তি একটি একক, একীভূত কাঠামোর মধ্যে সমস্ত পরিচিত কণা এবং বলগুলিকে বর্ণনা করার ক্ষমতার মধ্যে নিহিত। কণা পদার্থবিদ্যার স্ট্যান্ডার্ড মডেল, যার মধ্যে রয়েছে কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডায়নামিক্স, কোয়ান্টাম ক্রোমোডাইনামিক্স, এবং ইলেক্ট্রোওয়েক তত্ত্ব, একটি কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব যা অসাধারণ নির্ভুলতার সাথে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক, দুর্বল এবং শক্তিশালী বলগুলিকে ব্যাখ্যা করে। যদিও মাধ্যাকর্ষণ এখনও এই কাঠামোর মধ্যে সম্পূর্ণরূপে অন্তর্ভুক্ত করা হয়নি, QFT মহাজাগতিক স্কেলে ক্ষেত্রগুলির মিথস্ক্রিয়া থেকে সাবঅ্যাটমিক কণার আচরণ থেকে বিস্তৃত। যা শারীরিক ঘটনা ব্যাখ্যা করতে উল্লেখযোগ্যভাবে সফল হয়েছে।

সংক্ষেপে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি হল অন্তর্নিহিত সত্তা যা সমস্ত কণা এবং শক্তির জন্ম দেয়। কণাগুলিকে স্বাধীন বস্তু হিসেবে দেখার পরিবর্তে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব প্রকাশ করে যে তারা ক্ষেত্রগুলির উত্তেজনা যা সমস্ত স্থান এবং সময় পূরণ করে। এই ক্ষেত্রগুলি কোয়ান্টাম ওঠানামার সাপেক্ষে, একে অপরের সাথে যোগাযোগ করে এবং কণার সৃষ্টি ও বিনাশের জন্য দায়ী। কণাগুলিকে ক্ষেত্রের ব্যাঘাত হিসাবে বিবেচনা করে, QFT কোয়ান্টাম জগতের একটি গভীর এবং আরও সম্পূর্ণ উপলব্ধি প্রদান করে, আমাদেরকে প্রকৃতির মৌলিক শক্তিগুলি বর্ণনা করতে এবং ক্ষুদ্রতম স্কেলে পদার্থ এবং শক্তির আচরণের ভবিষ্যদ্বাণী করতে দেয়।

মৌলিক কণার ক্ষেত্র (ইলেকট্রন, ফোটন ইত্যাদি)

ইলেকট্রন, ফোটন এবং অন্যান্যের মতো মৌলিক কণাগুলির জন্য ক্ষেত্রের ধারণা আধুনিক পদার্থবিদ্যার একটি কেন্দ্রীয় ধারণা, বিশেষ করে কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের (কিউএফটি) কাঠামোতে। শাস্ত্রীয় পদার্থবিজ্ঞানের বিপরীতে, যেখানে কণাগুলিকে নির্দিষ্ট অবস্থান এবং বেগ সহ ক্ষুদ্র, বিচ্ছিন্ন বস্তু হিসাবে ভাবা হয়, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব বাস্তবতার অনেক বেশি তরল এবং আন্তঃসংযুক্ত ছবি প্রকাশ করে। QFT-এ, প্রতিটি মৌলিক কণা একটি অন্তর্নিহিত কোয়ান্টাম ক্ষেত্রের সাথে মিলে যায়, যা সমস্ত স্থান এবং সময় পূরণ করে। এই ক্ষেত্রগুলি হল মহাবিশ্বের প্রকৃত সত্তা, এবং কণাগুলিকে এই ক্ষেত্রগুলিতে স্থানীয় উত্তেজনা বা ব্যাঘাত হিসাবে দেখা হয়।

উদাহরণস্বরূপ, ইলেকট্রন নিন। ক্লাসিক্যাল মেকানিক্সে, ইলেকট্রন ভর এবং চার্জ সহ একটি বিন্দু-সদৃশ কণা। যাইহোক, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বে, ইলেকট্রন হল ইলেকট্রন ক্ষেত্রের একটি উত্তেজনা। এই ক্ষেত্রটি মহাবিশ্বের

সর্বত্র বিদ্যমান, এমনকি এমন অঞ্চলেও যেখানে প্রকৃত ইলেকট্রন নেই। যখন আমরা একটি ইলেকট্রন শনাক্ত করি, তখন আমরা ইলেকট্রন ক্ষেত্রে একটি লহর বা ব্যাঘাত লক্ষ্য করছি। ইলেকট্রনের বৈশিষ্ট্য, যেমন এর ভর, চার্জ এবং স্পিন এই ক্ষেত্রের অন্তর্নিহিত। এই উত্তেজনাগুলি স্থানের মধ্য দিয়ে যেতে পারে, অন্যান্য ক্ষেত্রের সাথে যোগাযোগ করতে পারে এবং কণার মতো আচরণগুলি প্রদর্শন করতে পারে যা আমরা পরীক্ষায় লক্ষ্য করি। কিন্তু ইলেকট্রন নিজেই একটি স্বয়ংসম্পূর্ণ বস্তু নয় - এটি ইলেকট্রন ক্ষেত্রের শক্তির একটি প্রকাশ।

একইভাবে, ফোটন, আলোর কণা, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের উত্তেজনা। ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড ১৯ শতক থেকে অধ্যয়ন করা হয়েছে, কিন্তু কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব এই ক্ষেত্রের পরিমাণ নির্ধারণ করে এটিকে আরও এগিয়ে নিয়ে যায়, যার অর্থ হল এর উত্তেজনা (ফোটন) শক্তির পৃথক প্যাকেটে ঘটে। এটি ব্যাখ্যা করে কেন আলো, যা ধ্রুপদী পদার্থবিজ্ঞানে একটি অবিশ্লিষ্ট তরঙ্গ হিসাবে আচরণ করে, এছাড়াও কোয়ান্টাম মেকানিক্সে কণার মতো বৈশিষ্ট্যগুলিও প্রদর্শন করতে পারে, যেমন ফোটোইলেক্ট্রিক প্রভাবের মতো নির্দিষ্ট পরিমাণে নির্গত বা শোষিত হওয়া। ফোটনগুলি ভরহীন, এবং তারা আলোর গতিতে ভ্রমণ করে, তবুও তারা অন্তর্নিহিত তড়িৎ চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে ব্যাঘাত ঘটায়।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি কেবল ইলেকট্রন এবং ফোটনের মধ্যে সীমাবদ্ধ নয়। প্রতিটি পরিচিত মৌলিক কণা তার নিজস্ব ক্ষেত্রের সাথে মিলে যায়। উদাহরণস্বরূপ, কোয়ার্ক, যা প্রোটন এবং নিউট্রনের বিল্ডিং ব্লক, কোয়ার্ক ক্ষেত্রের উত্তেজনা। প্রোটন এবং নিউট্রনের অভ্যন্তরে কোয়ার্ককে একত্রিত করে এমন শক্তিশালী পারমাণবিক বল গ্লুয়ন ক্ষেত্র দ্বারা মধ্যস্থতা করে। গ্লুয়ন হল শক্তিশালী মিথস্ক্রিয়া শক্তির বাহক, যেমন ফোটন ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বলের মধ্যস্থতা করে। গ্লুয়ন ক্ষেত্র কোয়ার্ককে এত শক্তভাবে একত্রে আবদ্ধ করে যে তারা বিচ্ছিন্ন অবস্থায় থাকতে পারে না, একটি ঘটনা যা বন্দী হিসেবে পরিচিত।

হিগস ক্ষেত্র, সম্ভবত সবচেয়ে বিখ্যাত কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির মধ্যে একটি, কণাকে তাদের ভর দেওয়ার জন্য দায়ী। এই ক্ষেত্রটি মহাকাশ জুড়ে বিদ্যমান, এবং ইলেকট্রনের মতো কণাগুলি স্থানের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় এটির সাথে যোগাযোগ করে। হিগস ক্ষেত্রের সাথে একটি কণা যত বেশি দৃঢ়ভাবে যোগাযোগ করে, তার ভর তত বেশি। ২০১২ সালে হিগস বোসন আবিষ্কার হিগস ক্ষেত্রের অস্তিত্বের প্রথম প্রত্যক্ষ প্রমাণ প্রদান করে। হিগস বোসন হল একটি কণা যা হিগস ক্ষেত্রের একটি উত্তেজনাকে প্রতিনিধিত্ব করে, যেমন ফোটনগুলি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের উত্তেজনা।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য দিকগুলির মধ্যে একটি হল যে তারা কখনই সত্যিই বিশ্রাম নেয় না। এমনকি একটি ভ্যাকুয়ামে, যেখানে কোনো কণা উপস্থিত বলে মনে হয় না, ক্ষেত্রগুলি এখনও সেখানে আছে, কোয়ান্টাম অনিশ্চয়তার কারণে ওঠানামা করছে। এই অস্থিরতাগুলি ভার্চুয়াল কণার সৃষ্টির দিকে নিয়ে যেতে পারে, যা সংক্ষিপ্তভাবে পপ ইন এবং অস্তিত্বের বাইরে। এই ভার্চুয়াল কণাগুলি বাস্তব কণাগুলির মধ্যে শক্তির মধ্যস্থতায় একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। উদাহরণস্বরূপ, যখন দুটি ইলেকট্রন ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বলের কারণে একে অপরকে বিকর্ষণ করে, তখন আসলে কী ঘটেছে তা হল তারা ভার্চুয়াল ফোটন বিনিময় করছে, যা অস্থায়ীভাবে তড়িৎ চৌম্বক ক্ষেত্রের ওঠানামা দ্বারা তৈরি হয়। যদিও এই ভার্চুয়াল ফোটনগুলি সরাসরি পর্যবেক্ষণযোগ্য নয়, তবে তাদের প্রভাব পরিমাপ করা যেতে পারে এবং তারা কণার মধ্যে শক্তিতে অবদান রাখে।

মৌলিক কণার জন্য ক্ষেত্রের ধারণাটি আমাদের কণার মিথস্ক্রিয়াকে একটি নতুন উপায়ে বুঝতে দেয়। শাস্ত্রীয় পদার্থবিজ্ঞানে, মহাকর্ষ এবং তড়িৎচুম্বকত্বের মতো শক্তিগুলি দূরত্বে কাজ করে বলে মনে করা হয়েছিল, কীভাবে একটি বস্তু অন্যটিকে প্রভাবিত করে তার কোনও স্পষ্ট ব্যাখ্যা নেই। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বে, কণার মধ্যে মিথস্ক্রিয়া শক্তি বহনকারী কণার বিনিময়ের মাধ্যমে ঘটে, যা তাদের নিজ নিজ ক্ষেত্রের উত্তেজনা। উদাহরণস্বরূপ, তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের জন্য দায়ী দুর্বল পারমাণবিক শক্তি, W এবং Z বোসন দ্বারা

মধ্যস্থতা করে, যা দুর্বল ক্ষেত্রের উত্তেজনা। এই বোসনগুলি বিশাল, যা ব্যাখ্যা করে কেন ভরবিহীন ফোটন দ্বারা মধ্যস্থিত দীর্ঘ-পাল্লার তড়িৎ চৌম্বকীয় বলের তুলনায় দুর্বল বলটি স্বল্প-পরিসরের। কণা পদার্থবিজ্ঞানের স্ট্যান্ডার্ড মডেল, যা সমস্ত পরিচিত মৌলিক কণা এবং তাদের মিথস্ক্রিয়া বর্ণনা করে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের নীতির উপর নির্মিত। এই মডেলে, প্রতিটি কণা একটি নির্দিষ্ট ক্ষেত্রের সাথে যুক্ত, এবং কণার মধ্যে মিথস্ক্রিয়া বল-বহনকারী কণার বিনিময় দ্বারা বর্ণনা করা হয়। ইলেকট্রন, কোয়ার্ক, নিউট্রিনো এবং অন্যান্য পদার্থের কণা হল ফার্মিয়ন এবং তারা ফার্মি-ডিরাক পরিসংখ্যানের নিয়ম মেনে চলে। অন্যদিকে, বোস-আইনস্টাইন পরিসংখ্যান অনুসারে ফোটন, গ্লুয়ন, ডার্ক এবং জেড বোসন এবং অন্যান্য বল বহনকারী কণা হল বোসন।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রের আরেকটি গুরুত্বপূর্ণ দিক হল প্রতিসাম্যের ধারণা। কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির আচরণ নির্দিষ্ট প্রতিসাম্য দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় এবং এই প্রতিসাম্যগুলি সংরক্ষণ আইনের দিকে পরিচালিত করে। উদাহরণস্বরূপ, নির্দিষ্ট রূপান্তরের অধীনে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের প্রতিসাম্য বৈদ্যুতিক চার্জ সংরক্ষণের সাথে মিলে যায়। আরো বিমূর্ত প্রতিসাম্য, যেমন গেজ প্রতিসাম্য, স্ট্যান্ডার্ড মডেল দ্বারা বর্ণিত শক্তির অধীন। এই প্রতিসাম্যগুলি ক্ষেত্রগুলির আচরণ এবং কণাগুলির মধ্যে মিথস্ক্রিয়াকে নির্দেশ করে, তত্ত্বের গাণিতিক কাঠামো এবং আমরা যে শারীরিক ঘটনা পর্যবেক্ষণ করি তার মধ্যে একটি গভীর সংযোগ প্রদান করে।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব শুধুমাত্র পরিচিত কণা এবং বলগুলিকে বর্ণনা করে না বরং নতুন কণা এবং ঘটনাগুলির পূর্বাভাস দেওয়ার জন্য কাঠামোও প্রদান করে। উদাহরণস্বরূপ, হিগস বোসনের ভবিষ্যদ্বাণীটি স্ট্যান্ডার্ড মডেলের প্রতিসাম্য রক্ষা করার সময় কণার ভর দেওয়ার জন্য একটি প্রক্রিয়ার জন্য তত্ত্বের প্রয়োজনীয়তার একটি প্রত্যক্ষ ফলাফল ছিল। একইভাবে, কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি টপ কোয়ার্ক এবং W এবং Z বোসনের মতো কণার ভবিষ্যদ্বাণী করেছে, যা পরবর্তীতে পরীক্ষার মাধ্যমে নিশ্চিত করা হয়েছে।

যাইহোক, যদিও কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব চারটি মৌলিক শক্তির মধ্যে তিনটি বর্ণনা করতে অবিশ্বাস্যভাবে সফল হয়েছে—ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম, দুর্বল পারমাণবিক বল এবং শক্তিশালী পারমাণবিক বল—এটি এখনও সম্পূর্ণরূপে মাধ্যাকর্ষণকে অন্তর্ভুক্ত করতে পারেনি। আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতার সাধারণ তত্ত্ব দ্বারা বর্ণিত মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রটি অন্যান্য কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির থেকে মৌলিকভাবে আলাদা এবং কোয়ান্টাম মহাকর্ষের একটি সম্পূর্ণ তত্ত্ব পদার্থবিজ্ঞানের সবচেয়ে বড় অমীমাংসিত সমস্যাগুলির মধ্যে একটি।

সংক্ষেপে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি মৌলিক কণা বোঝার জন্য অন্তর্নিহিত কাঠামো প্রদান করে। কণাগুলিকে স্বাধীন বস্তু হিসেবে দেখার পরিবর্তে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব তাদের ক্ষেত্রগুলিতে উত্তেজনা বা ব্যাঘাত হিসাবে বর্ণনা করে যা সমস্ত স্থান পূর্ণ করে। এই ক্ষেত্রগুলি একে অপরের সাথে যোগাযোগ করে এবং তাদের উত্তেজনাগুলি আমরা পর্যবেক্ষণ করি এমন কণা এবং শক্তির জন্ম দেয়। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের নীতির মাধ্যমে, আমরা কণার মধ্যে মিথস্ক্রিয়া বর্ণনা করতে পারি, যে শক্তিগুলি তাদের আচরণকে নিয়ন্ত্রণ করে এবং যে প্রতিসাম্যগুলি সবচেয়ে মৌলিক স্তরে পদার্থবিজ্ঞানের নিয়মগুলিকে নির্দেশ করে। কণা থেকে ক্ষেত্রগুলিতে এই স্থানান্তর মহাবিশ্ব সম্পর্কে আমাদের বোঝার পরিবর্তন করেছে এবং আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের কেন্দ্রবিন্দুতে রয়ে গেছে।

কণা সৃষ্টি ও বিনাশের ধারণা

কণা সৃষ্টি এবং বিনাশের ধারণা আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সবচেয়ে গভীর ধারণাগুলির মধ্যে একটি, আমরা কীভাবে কণার প্রকৃতি এবং তাদের মিথস্ক্রিয়া বুঝতে পারি তা পুনর্নির্মাণ করে। শাস্ত্রীয় পদার্থবিজ্ঞানে, কণাগুলিকে সংরক্ষিত সত্ত্বা হিসাবে বিবেচনা করা হয়, যার অর্থ তারা কেবল উপস্থিত হতে পারে না বা কিছুই থেকে অদৃশ্য হতে পারে না। যাইহোক, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব (QFT), কণাগুলিকে স্থায়ী, অবিদ্যমান

বস্তু হিসাবে দেখা হয় না, বরং অন্তর্নিহিত কোয়ান্টাম ক্ষেত্রের উত্তেজনা বা ব্যাঘাত হিসাবে দেখা হয়। এই ব্যাঘাতগুলি শক্তির অবস্থার উপর নির্ভর করে তৈরি বা ধ্বংস হতে পারে, যা কণার সৃষ্টি এবং ধ্বংসের দিকে পরিচালিত করে।

এর মূল অংশে, কণা সৃষ্টি এবং বিনাশ প্রাকৃতিকভাবে ক্ষেত্রগুলির কোয়ান্টাম প্রকৃতি থেকে উদ্ভূত হয়। মহাবিশ্বের প্রতিটি মৌলিক কণা, তা ইলেকট্রন, ফোটন বা কোয়ার্কই হোক না কেন, সংশ্লিষ্ট ক্ষেত্রের সাথে যুক্ত। এই ক্ষেত্রগুলি সমস্ত স্থান এবং সময়ে বিস্তৃত করে এবং তাদের ওঠানামা করার ক্ষমতা রয়েছে। যখন শক্তি সঠিক উপায়ে একটি ক্ষেত্রের মধ্যে প্রবর্তিত হয়, তখন এটি একটি স্থানীয় তরঙ্গ তৈরি করতে পারে, যা আমরা একটি কণা হিসাবে ব্যাখ্যা করি। উদাহরণস্বরূপ, একটি ইলেকট্রন ইলেকট্রন ক্ষেত্রের একটি লহর। এই প্রক্রিয়াটিকে আমরা "কণা সৃষ্টি" হিসাবে উল্লেখ করি। অন্যদিকে, যখন শর্তগুলি অনুমতি দেয়, তখন এই উত্তেজনাগুলি ছড়িয়ে যেতে পারে, যার ফলে কণাটি অদৃশ্য হয়ে যায় - একটি প্রক্রিয়া যা "কণা বিনাশ" নামে পরিচিত।

কণা সৃষ্টি এবং বিনাশের সবচেয়ে সাধারণ উদাহরণ শক্তি জড়িত মিথস্ক্রিয়ায় ঘটে, যেমন কণা ধ্বংসকারী বা উচ্চ-শক্তি মহাজাগতিক ঘটনাগুলিতে। যখন কণাগুলি উচ্চ শক্তিতে সংঘর্ষ হয়, তখন তারা সম্পূর্ণ নতুন কণার জন্ম দিতে পারে। এই প্রক্রিয়াটি ঘটে কারণ সংঘর্ষ থেকে শক্তি কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলিতে স্থানান্তরিত হয়, যার ফলে নতুন উত্তেজনা বা নতুন কণা তৈরি হয়। উদাহরণস্বরূপ, যখন দুটি উচ্চ-শক্তির প্রোটন একটি কণা ধ্বংসকারীতে সংঘর্ষে পড়ে, তখন শক্তি নতুন কণার স্প্রে তৈরি করতে পারে, যেমন কোয়ার্ক, গ্লুয়ন এবং এমনকি হিগস বোসনের মতো ভারী কণা। এই কণাগুলি সংঘর্ষের আগে উপস্থিত ছিল না তবে কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলিতে ইনজেকশনের শক্তি থেকে তৈরি হয়েছিল।

বিপরীতভাবে, কণা বিনাশ ঘটে যখন একটি কণা তার সংশ্লিষ্ট প্রতিকণার সাথে মিলিত হয়। প্রতিকণাগুলি বিপরীত চার্জ বহনকারী কণার মিরর ইমেজের মতো। উদাহরণস্বরূপ, পজিট্রন হল ইলেকট্রনের প্রতিকণা, ইলেক্ট্রনের ঋণাত্মক চার্জের তুলনায় একটি ধনাত্মক চার্জ বহন করে। যখন একটি ইলেক্ট্রন এবং একটি পজিট্রন সংস্পর্শে আসে, তারা একে অপরকে ধ্বংস করে। এর অর্থ এই নয় যে তারা কেবল শূন্যতায় বিলীন হয়ে যায়; বরং, দুটি কণার ভর এবং ভরবেগে বাঁধা শক্তি নির্গত হয়, প্রায়শই ফোটনের আকারে, আলোর কণা। এই শক্তি আইনস্টাইনের বিখ্যাত সমীকরণের ফলাফল,

$$E=mc^2$$

, যা আমাদের বলে যে ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে এবং এর বিপরীত ও ঘটতে পারে।

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বে, কণা সৃষ্টি ও বিনাশের পেছনের গণিতকে সৃষ্টি ও বিনাশ অপারেটর ব্যবহার করে সুন্দরভাবে প্রকাশ করা হয়। এই অপারেটরগুলি QFT-এর গাণিতিক আনুষ্ঠানিকতার অংশ, এবং তারা বর্ণনা করে যে কীভাবে ক্ষেত্রগুলি স্থান এবং সময়ের যে কোনও নির্দিষ্ট বিন্দুতে কণা তৈরি বা ধ্বংস করতে পারে। সৃষ্টি অপারেটর একটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্রে শক্তি যোগ করে, একটি কণা উৎপন্ন করে, যখন বিনাশ অপারেটর ক্ষেত্র থেকে শক্তি সরিয়ে দেয়, যার ফলে একটি কণা অদৃশ্য হয়ে যায়। এই অপারেটরগুলি কোয়ান্টাম মেকানিক্সে বিভিন্ন প্রক্রিয়ার সম্ভাব্যতা গণনা করার জন্য অপরিহার্য, যেমন কণা ধ্বংসকারীতে বিক্ষিপ্ত ঘটনা বা কোয়ান্টাম ভ্যাকুয়ামে কণার আচরণ।

কণা সৃষ্টি ও বিনাশ শুধু তাত্ত্বিক ধারণা নয়; মহাবিশ্বে তাদের বাস্তব, পর্যবেক্ষণযোগ্য পরিণতি রয়েছে। একটি বিখ্যাত ঘটনা যা কণা সৃষ্টিকে চিত্রিত করে তা হল হকিং বিকিরণ, যা ব্ল্যাক হোলের ঘটনা দিগন্তের কাছাকাছি স্থানে ঘটে। স্টিফেন হকিংয়ের তত্ত্ব অনুসারে, ঘটনা দিগন্তের কাছাকাছি কোয়ান্টাম ওঠানামা কণা-প্রতিকণা জোড়া তৈরি করতে পারে। সাধারণত, এই জোড়াগুলি একে অপরকে প্রায় অবিলম্বে ধ্বংস করে দেবে, কিন্তু ঘটনা দিগন্তের কাছাকাছি, একটি কণা ব্ল্যাক হোলে পড়তে পারে। পরবর্তীতে অন্যটি মহাকাশে পালিয়ে যায়। এই পালানো কণাটিকে বিকিরণ হিসাবে পরিলক্ষিত হয় এবং সময়ের সাথে সাথে, এই

প্রক্রিয়াটি কৃষ্ণগহ্বরকে ধীরে ধীরে বাষ্পীভবনের দিকে নিয়ে যেতে পারে কারণ এটি নির্গত বিকিরণের মাধ্যমে ভর হারায়।

কণা সৃষ্টির আরেকটি উদাহরণ হল জোড়া উৎপাদন, যেখানে একটি উচ্চ-শক্তি ফোটন স্বতঃস্ফূর্তভাবে একটি ইলেক্ট্রন এবং একটি পজিট্রনে রূপান্তরিত হতে পারে যখন এটি একটি শক্তিশালী বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র বা অন্য কণার সাথে যোগাযোগ করে। এই প্রক্রিয়াটি দেখায় যে আলো আকারে শক্তি সরাসরি পদার্থে রূপান্তরিত হতে পারে, যদি তৈরি করা কণাগুলির ভরের জন্য যথেষ্ট শক্তি থাকে।

মহাবিশ্ববিদ্যায়, মহাবিস্ফোরণের পরপরই প্রথম মহাবিশ্বে কণা সৃষ্টি এবং বিনাশ একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করেছিল। প্রারম্ভিক মহাবিশ্বের উচ্চ-শক্তির পরিবেশে, কণা এবং প্রতিকণাগুলি ক্রমাগত তৈরি এবং ধ্বংস হচ্ছিল। মহাবিশ্ব প্রসারিত এবং শীতল হওয়ার সাথে সাথে শক্তির মাত্রা হ্রাস পেয়েছে এবং কণা সৃষ্টির হার ধীর হয়ে গেছে। অবশেষে, অবশিষ্ট কণাগুলি এমন পদার্থ তৈরি করেছে যা গ্যালাক্সি, নক্ষত্র, গ্রহ এবং আজকের মহাবিশ্বের সমস্ত কিছু তৈরি করে। প্রারম্ভিক মহাবিশ্বে কণা সৃষ্টিকে বোঝা বিজ্ঞানীদের ব্যাখ্যা করতে সাহায্য করে কেন মহাবিশ্বে প্রতিপদার্থের চেয়ে বেশি পদার্থ রয়েছে - এই রহস্য পদার্থের - অ্যান্টিমেটার অ্যাসিমেট্রি নামে পরিচিত।

কণা সৃষ্টি এবং বিনাশের আরেকটি গুরুত্বপূর্ণ প্রভাব হল কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকস (QED), ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব। QED-তে, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড ইলেকট্রনের মতো চার্জযুক্ত কণার সাথে মিথস্ক্রিয়া করে এবং এই মিথস্ক্রিয়াগুলি ভার্চুয়াল ফোটনের সৃষ্টি এবং ধ্বংসের মাধ্যমে মধ্যস্থতা করে। এই ভার্চুয়াল ফোটনগুলি সরাসরি পর্যবেক্ষণযোগ্য নয়, তবে তারা কণার মধ্যে শক্তি প্রেরণে মূল ভূমিকা পালন করে। একইভাবে, কোয়ান্টাম ক্রোমোডাইনামিক্স (QCD), শক্তিশালী পারমাণবিক বলের তত্ত্ব, গ্লুয়ন-কণাগুলি যা শক্তিশালী বলের মধ্যস্থতা করে-কোয়ার্কগুলির মধ্যে মিথস্ক্রিয়ায় ক্রমাগত তৈরি এবং ধ্বংস হয়।

কণার সৃষ্টি এবং বিনাশও ভ্যাকুয়াম ফ্লাকচুয়েশনের ধারণার সাথে যুক্ত, যা আমরা সাধারণত "খালি স্থান" বলে বিবেচনা করি। এমনকি একটি ভ্যাকুয়ামে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি কখনই সত্য সত্যই বিশ্রাম নেয় না। অনিশ্চয়তার নীতির কারণে এগুলি সর্বদা ক্ষুদ্র, এলোমেলো ওঠানামার সাপেক্ষে থাকে, যা শক্তিকে মুহূর্তের মধ্যে উপস্থিত হতে এবং অদৃশ্য হতে দেয়। এই অস্থিরতাগুলি সংক্ষেপে জোড়া কণা এবং প্রতিকণা তৈরি করতে পারে, যা একে অপরকে ধ্বংস করার আগে একটি ক্ষণস্থায়ী মুহূর্তের জন্য বিদ্যমান। এই স্বল্পস্থায়ী কণাগুলিকে "ভার্চুয়াল কণা" বলা হয় এবং যদিও এগুলি সরাসরি পর্যবেক্ষণ করা যায় না, তবে বাস্তব কণার আচরণে তাদের পরিমাপযোগ্য প্রভাব রয়েছে। উদাহরণ স্বরূপ, ক্যাসিমির প্রভাব—দুটি ঘনিষ্ঠ ব্যবধানে ধাতব প্লেটের মধ্যে পরিলক্ষিত একটি বল—কোয়ান্টাম ভ্যাকুয়ামে ভার্চুয়াল কণার উপস্থিতি থেকে উদ্ভূত হয়।

সংক্ষেপে, কণা সৃষ্টি এবং বিনাশের ধারণা মৌলিকভাবে পরিবর্তিত হয় কিভাবে আমরা কোয়ান্টাম জগতে কণাকে বুঝি। স্থায়ী, অবিভাজ্য বস্তু হওয়ার পরিবর্তে, কণা হল অন্তর্নিহিত কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির উত্তেজনা যা উপলব্ধ শক্তির উপর নির্ভর করে তৈরি বা ধ্বংস করা যেতে পারে। এই প্রক্রিয়াটি শুধুমাত্র উচ্চ শক্তিতে কণার মিথস্ক্রিয়াগুলির একটি মূল বৈশিষ্ট্য নয়, এটি ব্ল্যাক হোল বিকিরণ, প্রারম্ভিক মহাবিশ্ব এবং পারমাণবিক এবং উপ-পরমাণু কণাগুলিকে নিয়ন্ত্রণকারী শক্তিগুলির মতো বৈচিত্র্যময় ঘটনাতেও ভূমিকা রাখে। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব এই প্রক্রিয়াগুলি বর্ণনা করার জন্য গাণিতিক সরঞ্জাম সরবরাহ করে, যা শক্তি, পদার্থ এবং মহাবিশ্বের ফ্যাব্রিক তৈরি করে এমন অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রগুলির মধ্যে গভীর সংযোগ প্রকাশ করে।

ভার্চুয়াল কণা এবং ভ্যাকুয়াম ওঠানামা

ভার্চুয়াল কণা এবং ভ্যাকুয়াম ওঠানামা হল কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের আকর্ষণীয় ধারণা, যা সত্যিকার অর্থে ভ্যাকুয়াম বা "শূন্য স্থান" কী তা আমাদের ধ্রুপদী ধারণাকে চ্যালেঞ্জ করে। শাস্ত্রীয় পদার্থবিজ্ঞানে, একটি শূন্যতা হল বস্তুর অনুপস্থিতি, এমন একটি স্থান যা কোনো কণা, শক্তি বা ভৌত সত্তা নেই। কিন্তু কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, বিশেষ করে কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বে, ভ্যাকুয়ামের ধারণাটি অনেক বেশি সমৃদ্ধ এবং জটিল অর্থ গ্রহণ করে। এমনকি বাস্তব কণার অনুপস্থিতিতেও, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি টিকে থাকে এবং তারা কখনই পুরোপুরি স্থির থাকে না। কোয়ান্টাম সিস্টেমে উপস্থিত অন্তর্নিহিত অনিশ্চয়তার কারণে এই ক্ষেত্রগুলি ক্রমাগত ওঠানামা করে, যা ভ্যাকুয়াম ওঠানামা নামে পরিচিত।

কোয়ান্টাম ভ্যাকুয়ামে এই ওঠানামার সরাসরি পরিণতি হিসেবে ভার্চুয়াল কণা আবির্ভূত হয়। এই কণাগুলি এই অর্থে "বাস্তব" নয় যে এগুলি সাধারণ কণার মতো সরাসরি সনাক্ত বা পর্যবেক্ষণ করা যায় না, তবে তারা মধ্যস্থতাকারী শক্তি এবং প্রকৃত কণাগুলির মধ্যে মিথস্ক্রিয়াতে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। ভার্চুয়াল কণাগুলি একটি অবিশ্বাস্যভাবে সংক্ষিপ্ত মুহূর্তের জন্য বিদ্যমান, সাধারণত অনিশ্চয়তার নীতির সীমাবদ্ধতার মধ্যে, যা শক্তি এবং সময়ের মতো নির্দিষ্ট জোড়া, যা মূলত ভৌত পরিমাণ এবং তা কতটা সুনির্দিষ্টভাবে আমরা জানতে পারি তার সীমাবদ্ধতাগুলি পরিচালনা করে। হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি অনুসারে, শক্তির ওঠানামা একটি শূন্যে ঘটতে পারে যতক্ষণ না তারা অস্থায়ী হয়, এবং এই ওঠানামাগুলি কণা-প্রতিকণা জোড়া-ভার্চুয়াল কণার জন্ম দিতে পারে-যা অস্তিত্বে আসে এবং তারপর একে অপরকে প্রায় তাৎক্ষণিকভাবে ধ্বংস করে।

যদিও ভার্চুয়াল কণাগুলি সরাসরি পর্যবেক্ষণ করা যায় না, তবে তাদের প্রভাবগুলি খুব বাস্তব। ভার্চুয়াল কণার সবচেয়ে পরিচিত ফলাফলগুলির মধ্যে একটি হল ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফোর্স, যেমনটি কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকস (QED) দ্বারা বর্ণনা করা হয়েছে। QED-তে, দুটি চার্জযুক্ত কণার মধ্যে বল, যেমন দুটি ইলেকট্রন, ভার্চুয়াল ফোটনের বিনিময়ের মাধ্যমে মধ্যস্থতা করা হয়, যা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের বল বাহক। এই ভার্চুয়াল ফোটনগুলি ইলেকট্রনের মধ্যে বলকে "প্রেরণ" করে, যার ফলে আলোর কোনো প্রকৃত কণা নির্গত বা শোষিত না হওয়া সত্ত্বেও তারা একে অপরকে বিকর্ষণ করে। এক অর্থে, ভার্চুয়াল ফোটনগুলি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক মিথস্ক্রিয়াটির অদৃশ্য বার্তাবাহক হিসাবে কাজ করে, যা কখনও সরাসরি সনাক্ত না করে কণার মধ্যে বলকে সহজতর করে।

ভার্চুয়াল কণাগুলি শক্তিশালী পারমাণবিক শক্তিতেও একটি কেন্দ্রীয় ভূমিকা পালন করে, যা পারমাণবিক নিউক্লিয়াসের ভিতরে প্রোটন এবং নিউট্রনকে একসাথে ধরে রাখে। কোয়ান্টাম ক্রোমোডাইনামিক্সে (QCD), শক্তিশালী মিথস্ক্রিয়া বর্ণনাকারী তত্ত্ব, ভার্চুয়াল গ্লুয়ন হল কোয়ার্কের মধ্যে বিনিময় করা শক্তির বাহক। এই ভার্চুয়াল গ্লুয়নগুলি এমন শক্তিশালী বল তৈরি করে যা কোয়ার্ককে একত্রে আবদ্ধ করে প্রোটন, নিউট্রন এবং হ্যাড্রন নামে পরিচিত অন্যান্য যৌগিক কণা তৈরি করে। QED-তে ভার্চুয়াল ফোটনের মতো, এই ভার্চুয়াল গ্লুয়নগুলি শুধুমাত্র সাময়িকভাবে বিদ্যমান, কিন্তু তাদের প্রভাব গভীর, যা পদার্থের গঠনের জন্য অপরিহার্য দৃঢ় বাঁধন তৈরি করে।

ক্যাসিমির প্রভাবে ভ্যাকুয়াম ওঠানামা এবং ভার্চুয়াল কণার একটি আকর্ষণীয় প্রকাশ লক্ষ্য করা যায়। ক্যাসিমির প্রভাব ঘটে যখন দুটি চার্জহীন, সমান্তরাল ধাতব প্লেট একটি ভ্যাকুয়ামে একে অপরের খুব কাছাকাছি স্থাপন করা হয়। যদিও প্লেটগুলির কোনও নেট চার্জ নেই এবং তাদের মধ্যে কোনও বাস্তব কণা নেই, তারা এমন একটি শক্তি অনুভব করে যা তাদের একসাথে ঠেলে দেয়। প্লেটগুলির মধ্যে কোয়ান্টাম ভ্যাকুয়াম ওঠানামার কারণে এই শক্তির উদ্ভব হয়। যেহেতু প্লেটগুলি খুব কাছাকাছি, তাই তাদের মধ্যে অনুমোদিত ভার্চুয়াল কণা এবং ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড মোডের বর্ণালী সীমাবদ্ধ, যার ফলে প্লেটের ভিতরে এবং বাইরে ভ্যাকুয়াম শক্তিতে ভারসাম্যহীনতা দেখা দেয়। শক্তির এই পার্থক্য একটি পরিমাপযোগ্য বল তৈরি করে যা প্লেটগুলিকে একে অপরের দিকে টানে। ক্যাসিমির প্রভাব ভ্যাকুয়াম ওঠানামার বাস্তবতার সবচেয়ে সরাসরি পরীক্ষামূলক নিশ্চিতকরণগুলির মধ্যে একটি।

ভ্যাকুয়াম ওঠানামা এবং ভার্চুয়াল কণার আরেকটি উল্লেখযোগ্য উদাহরণ হল হকিং বিকিরণ, যা ব্ল্যাক হোলের প্রেক্ষাপটে পদার্থবিদ স্টিফেন হকিং ভবিষ্যদ্বাণী করেছিলেন। এই তত্ত্ব অনুসারে, ব্ল্যাক হোলের ঘটনা দিগন্তের কাছাকাছি ভ্যাকুয়াম ওঠানামা ভার্চুয়াল কণা-অ্যান্টি পার্টিকেল জোড়া তৈরি করতে পারে। সাধারণত, এই জোড়াগুলি দ্রুত একে অপরকে ধ্বংস করে দেয়, কিন্তু ঘটনা দিগন্তের কাছাকাছি, একটি কণা ব্ল্যাক হোলে পড়তে পারে যখন অন্যটি পালিয়ে যায়। এই পলায়নকারী কণাটি ব্ল্যাক হোল থেকে নির্গত বিকিরণ হিসাবে পরিলক্ষিত হয় এবং সময়ের সাথে সাথে এই প্রক্রিয়াটি ব্ল্যাক হোলটির ভর হারায় এবং অবশেষে বাষ্পীভূত হয়। হকিং বিকিরণ সাধারণ আপেক্ষিকতার সাথে মিলিত কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের একটি অসাধারণ পরিণতি, যা দেখায় যে কীভাবে ভার্চুয়াল কণাগুলি এমনকি ব্ল্যাক হোলের মতো চরম পরিবেশেও তাৎপর্যপূর্ণ শারীরিক পরিণতি হতে পারে।

ভ্যাকুয়াম ওঠানামাও কণা-অ্যান্টি পার্টিকেল সৃষ্টি এবং ধ্বংসের প্রেক্ষাপটে গুরুত্বপূর্ণ। উচ্চ-শক্তির পরিবেশে, যেমন কণা ধ্বংসগুলিতে উত্পাদিত, স্থানের একটি অঞ্চলে শক্তি কণা-অ্যান্টি পার্টিকেল জোড়া আকারে পদার্থে রূপান্তরিত হতে পারে। এই প্রক্রিয়া জোড়া উত্পাদন হিসাবে পরিচিত। উদাহরণস্বরূপ, একটি উচ্চ-শক্তিসম্পন্ন ফোটন (আলোর একটি কণা) ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের সাথে যোগাযোগ করতে পারে এবং একটি ইলেকট্রন এবং এর প্রতিকণা, একটি পজিট্রন তৈরি করতে পারে। বিশুদ্ধ শক্তি থেকে পদার্থের এই সৃষ্টি শক্তি এবং ভরের মধ্যে গভীর সংযোগ প্রদর্শন করে, যেমনটি আইনস্টাইনের সমীকরণ দ্বারা ভবিষ্যদ্বাণী করা হয়েছিল

$$E=mc^2$$

. জোড়া উৎপাদনে, ভ্যাকুয়াম ওঠানামা সংক্ষিপ্তভাবে ভার্চুয়াল কণা তৈরির অনুমতি দেয়, কিন্তু যখন পর্যাপ্ত শক্তি থাকে, তখন এই ভার্চুয়াল কণাগুলো বাস্তব, পর্যবেক্ষণযোগ্য কণা হয়ে উঠতে পারে।

ভার্চুয়াল কণাগুলি ভ্যাকুয়াম পোলারাইজেশনের ঘটনাতেও একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে, যা একটি শক্তিশালী বৈদ্যুতিক বা চৌম্বক ক্ষেত্রের উপস্থিতিতে ঘটে। ভ্যাকুয়াম পোলারাইজেশন বলতে বোঝায় যেভাবে কোয়ান্টাম ভ্যাকুয়াম একটি মাধ্যমের মতো আচরণ করে যা একটি চার্জযুক্ত কণার উপস্থিতি দ্বারা মেরুকরণ করা যেতে পারে, যেভাবে একটি সাধারণ উপাদান বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের উপস্থিতিতে মেরুকরণ হয়। ভ্যাকুয়ামে ভার্চুয়াল ইলেক্ট্রন-পজিট্রন জোড়া অস্থায়ীভাবে তৈরি হয় এবং চার্জযুক্ত কণার প্রতিক্রিয়ায় নিজেদের সারিবদ্ধ করে, বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের লাইনের বন্টন পরিবর্তন করে। এই প্রভাবটি পর্যবেক্ষিত চার্জকে পরিবর্তন করে এবং কণার আচরণে ছোট সংশোধন করতে পারে, যা উচ্চ-নির্ভুলতা পরীক্ষায় পরিমাপযোগ্য। ভ্যাকুয়াম পোলারাইজেশন কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকসের একটি মূল ভবিষ্যদ্বাণী এবং পরীক্ষামূলক পরিমাপ দ্বারা নিশ্চিত করা হয়েছে।

যদিও ভার্চুয়াল কণাগুলি অস্থায়ী এবং অধরা, তারা অনেক কোয়ান্টাম প্রক্রিয়া এবং মিথস্ক্রিয়া বোঝার জন্য অপরিহার্য। তারা এই সত্যটি তুলে ধরে যে, কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, ভ্যাকুয়াম একটি প্যাসিভ, খালি পর্যায় নয় বরং একটি গতিশীল এবং ওঠানামাকারী সত্তা। ভার্চুয়াল কণা এবং ভ্যাকুয়াম ওঠানামা হল ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম থেকে শক্তিশালী পারমাণবিক শক্তি পর্যন্ত মহাবিশ্বকে নিয়ন্ত্রণ করে এমন অনেক মৌলিক শক্তির ভিত্তি। এই ধারণাগুলি বাস্তবতা সম্পর্কে আমাদের বোঝার প্রসারিত করেছে, এটি দেখায় যে এমনকি "খালি" স্থানটিও কোয়ান্টাম স্তরের কার্যকলাপের সাথে মিশেছে।

এই ধারণা যে ভ্যাকুয়ামটি ওঠানামা করা কোয়ান্টাম ক্ষেত্র দিয়ে ভরা, ক্রমাগত ভার্চুয়াল কণা তৈরি করে এবং ধ্বংস করে, তাও সৃষ্টিতত্ত্বে একটি ভূমিকা পালন করে। প্রারম্ভিক মহাবিশ্বের প্রেক্ষাপটে, ভ্যাকুয়ামে কোয়ান্টাম ওঠানামা এমন বীজ হতে পারে যা শেষ পর্যন্ত গ্যালাক্সির মতো বড় আকারের কাঠামো গঠনের দিকে পরিচালিত করেছিল। মুদ্রাস্ফীতি নামে পরিচিত সময়ে মহাবিশ্বের দ্রুত সম্প্রসারণের সময়, এই কোয়ান্টাম ওঠানামাগুলি মহাজাগতিক স্কেলে প্রসারিত হয়েছিল, যার ফলে পদার্থের ঘনত্বের তারতম্য ঘটে। প্রারম্ভিক মহাবিশ্বের এই ক্ষুদ্র ওঠানামাগুলি পদার্থের মহাকর্ষীয় পতনের ভিত্তি হয়ে ওঠে, যার ফলে আমরা

আজ যে ছায়াপথ, নক্ষত্র এবং গ্রহ দেখতে পাচ্ছি। এইভাবে, ভ্যাকুয়াম ওঠানামার আপাতদৃষ্টিতে ক্ষুদ্র এবং ক্ষণস্থায়ী প্রভাবগুলি মহাবিশ্বের সমগ্র কাঠামো গঠনে একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করতে পারে।

সংশ্লেপে, ভার্চুয়াল কণা এবং ভ্যাকুয়াম ওঠানামা হল কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের মূল উপাদান যা খালি স্থানের অনেক গভীর এবং আরও সক্রিয় প্রকৃতি প্রকাশ করে। এমনকি একটি ভ্যাকুয়ামে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি ক্রমাগত ওঠানামা করছে, ভার্চুয়াল কণা তৈরি এবং ধ্বংস করছে। এই কণাগুলি, যদিও অস্থায়ী এবং তাদের নিজস্বভাবে পর্যবেক্ষণ করা যায় না, বাস্তব শারীরিক ঘটনার উপর উল্লেখযোগ্য প্রভাব ফেলে, কণার মধ্যে মধ্যস্থতাকারী শক্তি, ক্যাসিমির প্রভাবের মতো পর্যবেক্ষণযোগ্য শক্তিগুলিতে অবদান রাখে এবং এমনকি হকিং বিকিরণ এবং ভ্যাকুয়াম মেরুকরণের মতো ঘটনাগুলির দিকে পরিচালিত করে। খালি হওয়া থেকে অনেক দূরে, কোয়ান্টাম ভ্যাকুয়াম একটি গতিশীল এবং শক্তিশালী স্থান, যা মহাবিশ্বের গঠন এবং আচরণের সাথে সবচেয়ে মৌলিক স্তরে গভীরভাবে সংযুক্ত।

অধ্যায় ৬

প্রতিসাম্য এবং সংরক্ষণ আইন

পদার্থবিদ্যা এবং নোথার থিওরেমে প্রতিসাম্য

প্রতিসাম্য পদার্থবিদ্যায় একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে, যা মহাবিশ্বকে পরিচালনা করে এমন আইন সম্পর্কে আমাদের বোঝার গঠন করে। এর মূলে, প্রতিসাম্য বলতে বোঝায় যে একটি সিস্টেম অপরিবর্তিত থাকে বা নির্দিষ্ট রূপান্তরের অধীনে একই বৈশিষ্ট্য প্রদর্শন করে। এই রূপান্তরগুলি স্থানিক হতে পারে, যেমন একটি সিস্টেম ঘূর্ণন বা স্থানান্তরিত করা, অথবা এগুলি আরও বিমূর্ত হতে পারে, যেমন দৃষ্টিভঙ্গি পরিবর্তন করা যা থেকে আমরা একটি সিস্টেম পর্যবেক্ষণ করি। একটি ভৌত ব্যবস্থায় প্রতিসাম্যের উপস্থিতি প্রায়শই এর আচরণের বর্ণনাকে সহজ করে তোলে এবং এটি শারীরিক আইনের মৌলিক প্রকৃতি সম্পর্কে গভীর অন্তর্দৃষ্টির দিকে নিয়ে যেতে পারে।

পদার্থবিজ্ঞানে, অনেক ধরনের প্রতিসাম্য রয়েছে। উদাহরণস্বরূপ, ঘূর্ণন প্রতিসাম্য মানে হল যে আপনি যদি একটি নির্দিষ্ট অক্ষের চারপাশে যেকোন কোণ দ্বারা একটি বস্তুকে ঘোরান, তবে এটি দেখতে এবং একই ধরনের আচরণ করবে। ট্রান্সলেশনাল সিমিট্রি মানে হল যে আপনি যদি একটি সিস্টেমকে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে স্থানান্তর করেন তবে এটি পরিবর্তন হয় না। আরেকটি গুরুত্বপূর্ণ ধরন হল সময়ের প্রতিসাম্য, যেখানে পদার্থবিজ্ঞানের নিয়মগুলি সময়ের সাথে অপরিবর্তনীয়—যে কোনো ঘটনা এখন ঘটুক বা ভবিষ্যতে, একই আইন প্রযোজ্য। এই প্রতিসাম্যগুলি কেবল নান্দনিক বা বিমূর্ত নয়; শারীরিক সিস্টেমগুলি কীভাবে আচরণ করে তার জন্য তাদের গভীর পরিণতি রয়েছে এবং তারা শক্তি, ভরবেগ এবং অন্যান্য শারীরিক পরিমাণকে নিয়ন্ত্রণ করে এমন সংরক্ষণ আইনের সাথে আবদ্ধ।

প্রতিসাম্য এবং সংরক্ষণ আইনের মধ্যে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ লিঙ্কগুলির মধ্যে একটি নোথারের উপপাদ্যে অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে, এটি ১৯১৫ সালে গণিতবিদ এমি নোথার দ্বারা বিকশিত তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞানের একটি শক্তিশালী ফলাফল। সংরক্ষণ আইন। এর মানে হল যে যদি একটি সিস্টেমের আচরণ একটি নির্দিষ্ট রূপান্তরের অধীনে অপরিবর্তিত থাকে, তবে সিস্টেমে পরিমাপযোগ্য কিছু সংরক্ষণ করা হয়।

উদাহরণস্বরূপ, সময়ের প্রতিসাম্য বিবেচনা করুন। যদি পদার্থবিজ্ঞানের নিয়মগুলি সময়ের যে কোনো মুহূর্তে একই হয়, তাহলে এই প্রতিসাম্যটি বোঝায় যে শক্তি সংরক্ষণ করা হয়েছে। অন্য কথায়, একটি বিচ্ছিন্ন সিস্টেমের মোট শক্তি সময়ের সাথে স্থির থাকে। একইভাবে, যদি একটি সিস্টেম অনুবাদমূলক প্রতিসাম্য

প্রদর্শন করে-অর্থাৎ এটিকে মহাকাশে স্থানান্তরিত করার ফলে এর আচরণ পরিবর্তন হয় না-তাহলে সিস্টেমের গতি সংরক্ষিত হয়। যদি একটি সিস্টেমের ঘূর্ণনশীল প্রতিসাম্য থাকে, যার অর্থ হল যখন এটি একটি অক্ষের চারপাশে ঘোরানো হয় তখন এর আচরণ পরিবর্তন হয় না, তাহলে কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষিত হয়। এই উদাহরণগুলির প্রতিটি প্রদর্শন করে যে কীভাবে প্রতিসাম্যগুলি সংরক্ষণ আইনগুলির সাথে মিলে যায় যা আমাদের ভৌত জগতের বোঝার জন্য মৌলিক।

নোথারের উপপাদ্যটি বিশেষভাবে শক্তিশালী কারণ এটি আপাতদৃষ্টিতে বিমূর্ত গাণিতিক ধারণা এবং আমরা পরিমাপ এবং পর্যবেক্ষণ করতে পারি এমন ভৌত পরিমাণের মধ্যে একটি গভীর সংযোগ প্রদান করে। এটি দেখায় যে প্রতিসাম্যগুলি কেবল একটি সিস্টেমের উপরিভাগের বৈশিষ্ট্য নয়; তারা শারীরিক আইনের অন্তর্নিহিত কাঠামোর সাথে ঘনিষ্ঠভাবে সম্পর্কিত। এই উপপাদ্যের গুরুত্ব বাড়াবাড়ি করা যাবে না। এটি আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের একটি ভিত্তিপ্রস্তর এবং ক্লাসিক্যাল মেকানিক্স থেকে কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব পর্যন্ত বিস্তৃত সিস্টেমে প্রযোজ্য।

কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং ক্ষেত্র তত্ত্বের পরিপ্রেক্ষিতে, প্রতিসাম্য আরও বেশি গুরুত্ব নেয়। কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, কণা এবং ক্ষেত্রগুলিকে তরঙ্গ ফাংশন দ্বারা বর্ণনা করা হয়, যা তাদের অভ্যন্তরীণ বৈশিষ্ট্যগুলির সাথে সম্পর্কিত প্রতিসাম্য প্রদর্শন করতে পারে, যেমন স্পিন, চার্জ এবং অন্যান্য কোয়ান্টাম সংখ্যা। এই প্রতিসাম্যগুলি নির্দেশ করে যে কীভাবে কণাগুলি একে অপরের সাথে যোগাযোগ করে এবং কীভাবে তারা সময়ের সাথে বিবর্তিত হয়। উদাহরণস্বরূপ, গেজ প্রতিসাম্য, যা এক ধরনের স্থানীয় প্রতিসাম্য, কণা পদার্থবিজ্ঞানের স্ট্যান্ডার্ড মডেলের কেন্দ্রস্থলে রয়েছে, যে তত্ত্বটি মহাবিশ্বের মৌলিক শক্তি এবং কণাকে বর্ণনা করে।

গেজ প্রতিসাম্য বৈদ্যুতিক চার্জের মতো পরিমাণের সংরক্ষণের দিকে পরিচালিত করে এবং ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক, দুর্বল এবং শক্তিশালী শক্তির আচরণ নির্দেশ করে। ইলেক্ট্রোডায়নামিক্সে, চার্জ সংরক্ষণের সাথে সম্পর্কিত প্রতিসাম্যকে গেজ ইনভেরিয়েন্স বলা হয় এবং এটি ব্যাখ্যা করে কেন বৈদ্যুতিক চার্জ সবসময় মিথস্ক্রিয়ায় সংরক্ষিত থাকে। প্রকৃতপক্ষে, ফোটনের অস্তিত্ব, যে কণা তড়িৎ চৌম্বকীয় বলের মধ্যস্থতা করে, তা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের সাথে যুক্ত গেজ প্রতিসাম্যের ফলাফল হিসাবে বোঝা যায়।

পদার্থবিজ্ঞানে প্রতিসাম্যের আরেকটি মূল দিক হল স্বতঃস্ফূর্ত প্রতিসাম্য ভাঙা। কিছু সিস্টেমে, অন্তর্নিহিত আইন প্রতিসাম্য প্রদর্শন করতে পারে, কিন্তু সিস্টেম নিজেই একটি নির্দিষ্ট অবস্থা বেছে নেয় যা সেই প্রতিসাম্যকে ভেঙে দেয়। এটি পদার্থবিজ্ঞানের অনেক ক্ষেত্রে একটি কেন্দ্রীয় ধারণা, ঘনীভূত পদার্থের সিস্টেম থেকে কণা পদার্থবিদ্যা পর্যন্ত। উদাহরণস্বরূপ, একটি চৌম্বকীয় পদার্থে, সিস্টেমকে নিয়ন্ত্রণকারী আইনগুলি ঘূর্ণনের অধীনে প্রতিসাম্য, কিন্তু সিস্টেমটি সেই প্রতিসাম্যকে ভেঙে চৌম্বককরণের জন্য একটি নির্দিষ্ট দিক বেছে নেয়। কণা পদার্থবিদ্যায়, স্বতঃস্ফূর্ত প্রতিসাম্য ভাঙ্গা হিগস প্রক্রিয়ার মাধ্যমে কণা ভর দেওয়ার জন্য দায়ী। হিগস ক্ষেত্র প্রতিসাম্য প্রদর্শন করে, কিন্তু যখন এটি একটি অশূন্য মান অর্জন করে, তখন এটি সেই প্রতিসাম্যটিকে ভেঙে দেয় এবং W এবং Z বোসনের মতো কণাকে ভর অর্জন করতে দেয়।

কসমোলজিতে, প্রতিসাম্য মহাবিশ্বের বিবর্তন গঠনে একটি মূল ভূমিকা পালন করে। মহাবিশ্বের প্রাথমিক পর্যায়ে, বিগ ব্যাং-এর ঠিক পরে, এটা বিশ্বাস করা হয় যে মহাবিশ্ব একটি অত্যন্ত প্রতিসম অবস্থায় ছিল, যেখানে সমস্ত শক্তি একত্রিত ছিল। মহাবিশ্ব শীতল হওয়ার সাথে সাথে এই প্রতিসাম্যগুলি ভেঙে যায়, যার ফলে আমরা আজ যে স্বতন্ত্র শক্তিগুলি লক্ষ্য করি—মাধ্যাকর্ষণ, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম এবং শক্তিশালী এবং দুর্বল পারমাণবিক শক্তি। প্রারম্ভিক মহাবিশ্বে এই প্রতিসাম্যগুলির ভাঙ্গনও পদার্থ-অ্যান্টিমেটার অসম্যাট্রির জন্য দায়ী হতে পারে, ব্যাখ্যা করে যে কেন মহাবিশ্ব পদার্থ এবং প্রতিপদার্থের সমান অংশের পরিবর্তে পদার্থের দ্বারা প্রভাবিত।

আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানে প্রতিসাম্যের সবচেয়ে আকর্ষণীয় দিকগুলির মধ্যে একটি হল সুপারসিমেট্রি, একটি তাত্ত্বিক কাঠামো যা বিভিন্ন স্পিনগুলির সাথে কণার মধ্যে সম্পর্ক অন্তর্ভুক্ত করার জন্য প্রতিসাম্যের ধারণাকে প্রসারিত করে। সুপারসিমেট্রি ভবিষ্যদ্বাণী করে যে প্রতিটি পরিচিত কণার জন্য, বিভিন্ন স্পিন বৈশিষ্ট্য সহ একটি সংশ্লিষ্ট "সুপারপার্টনার" বিদ্যমান। যদিও সুপারসিমেট্রি এখনও পরীক্ষামূলকভাবে নিশ্চিত করা হয়নি, তবে এটি স্ট্যান্ডার্ড মডেলের একটি সম্ভাব্য এক্সটেনশন প্রদান করে যা এর কিছু সীমাবদ্ধতা যেমন শ্রেণীবিন্যাস সমস্যা এবং অন্ধকার পদার্থের প্রকৃতির সমাধান করতে পারে।

সংক্ষেপে, প্রতিসাম্য শুধুমাত্র একটি গাণিতিক ধারণা নয় বরং ভৌত মহাবিশ্বকে নিয়ন্ত্রণ করে এমন আইনের একটি মৌলিক বৈশিষ্ট্য। নোথারের উপপাদ্য প্রতিসাম্য এবং সংরক্ষণ আইনের মধ্যে গভীর সংযোগ প্রকাশ করে, যা দেখায় যে নির্দিষ্ট রূপান্তরের অধীনে ভৌত সিস্টেমের পরিবর্তন শক্তি, ভরবেগ এবং কৌণিক ভরবেগের মতো মূল পরিমাণের সংরক্ষণের দিকে পরিচালিত করে। ক্লাসিকাল মেকানিক্স থেকে কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি পর্যন্ত, এবং প্রারম্ভিক মহাবিশ্ব থেকে মৌলিক কণার মিথস্ক্রিয়া পর্যন্ত, প্রতিসাম্য ভৌত আইনের কাঠামোকে আকার দেয় এবং মহাবিশ্বের সবচেয়ে মৌলিক স্তরে কাজ করার অন্তর্দৃষ্টি প্রদান করে।

শক্তি সংরক্ষণ, গতিবেগ, এবং চার্জ

শক্তি, ভরবেগ এবং চার্জ সংরক্ষণের নীতিগুলি দৈনন্দিন স্কেলে এবং প্রকৃতির সবচেয়ে মৌলিক স্তরে উভয় ক্ষেত্রেই শারীরিক সিস্টেমগুলি কীভাবে আচরণ করে তা বোঝার জন্য মৌলিক ভিত্তি। এই সংরক্ষণ আইনগুলি প্রকৃতির প্রতিসাম্য থেকে উদ্ভূত হয় এবং তারা আমাদের বলে যে নির্দিষ্ট পরিমাণগুলি অপরিবর্তিত থাকে কারণ সময়ের সাথে সাথে শারীরিক প্রক্রিয়াগুলি বিবর্তিত হয়। এই স্থিরতা শাস্ত্রীয় এবং কোয়ান্টাম পদার্থবিদ্যা উভয় সিস্টেমে বিশ্লেষণ করার জন্য একটি শক্তিশালী হাতিয়ার প্রদান করে।

শক্তি দিয়ে শুরু করে, শক্তির সংরক্ষণের আইন বলে যে একটি বিচ্ছিন্ন সিস্টেমে মোট শক্তি স্থির থাকে, যদিও এটি এক ফর্ম থেকে অন্য ফর্মে রূপান্তর করতে পারে। শক্তি অনেক রূপ নিতে পারে- গতিগত, সম্ভাব্য, তাপীয়, ইলেক্টোম্যাগনেটিক এবং এমনকি ভর নিজেই, যেমনটি আইনস্টাইনের বিখ্যাত সমীকরণ দ্বারা বর্ণিত হয়েছে

$$E=mc^2$$

, যা আমাদের বলে যে ভর হল শক্তির একটি রূপ। যেকোনো শারীরিক প্রক্রিয়ায়, ঘটনার আগে এবং পরে মোট শক্তি একই হতে হবে, যদিও শক্তি সিস্টেমের বিভিন্ন অংশের মধ্যে স্থানান্তরিত হতে পারে বা ফর্ম পরিবর্তন হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, একটি সাধারণ পেন্ডুলামে, শক্তি গতিশক্তি (যখন পেন্ডুলামটি সবচেয়ে দ্রুত গতিতে চলে) এবং সম্ভাব্য শক্তির (যখন এটি তার দোলের শীর্ষে পৌঁছায়) এর মধ্যে দোদুল্যমান হয়, তবে সিস্টেমের মোট শক্তি স্থির থাকে যদি কোনও বাহ্যিক শক্তি কাজ না করে। এটা, ঘর্ষণ বা বায়ু প্রতিরোধের মত.

এই নীতিটি জটিল সিস্টেমের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। তাপগতিবিদ্যার ক্ষেত্রে, প্রথম আইন, যাকে প্রায়শই শক্তির সংরক্ষণ হিসেবে উল্লেখ করা হয়, এটি আন্ডারলাইন করে যে একটি বদ্ধ সিস্টেমের শক্তি পরিবর্তন হতে পারে শুধুমাত্র যদি শক্তি যোগ করা হয় বা অপসারণ করা হয়। যদি একটি সিস্টেমকে বিচ্ছিন্ন করা হয়, যেমন গরম জলের একটি সিল করা থার্মোস, তার মধ্যে শক্তি স্থির থাকে, যদিও এটি তাপ শক্তি এবং জলের অণুর অভ্যন্তরীণ শক্তির মধ্যে স্থানান্তর করতে পারে। একইভাবে, পারমাণবিক বিক্রিয়ায়, যেখানে কণাগুলি রূপান্তরিত হয়, শক্তির সংরক্ষণ এখনও বজায় থাকে, যদিও কিছু শক্তি বিকিরণ হিসেবে প্রদর্শিত হতে পারে, যেমন তারার মধ্যে তেজস্ক্রিয় ক্ষয় বা ফিউশন বিক্রিয়ায়।

মোমেন্টাম হল আরেকটি সংরক্ষিত পরিমাণ, তবে এটি বস্তুর গতির সাথে যুক্ত। গতিবেগ, যা একটি বস্তুর ভর এবং বেগের গুণফল, একটি বিচ্ছিন্ন সিস্টেমে স্থির থাকে যদি না কোনো বহিরাগত শক্তি দ্বারা কাজ করা

হয়। এই আইন প্রায়ই সংঘর্ষে স্পষ্ট হয়। একটি পুরোপুরি স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষে, উদাহরণস্বরূপ, সংঘর্ষের আগে এবং পরে সিস্টেমের মোট গতিবেগ একই। যদি দুটি বস্তু একটি ঘর্ষণহীন পরিবেশে সংঘর্ষে লিপ্ত হয় এবং কোনো বাহ্যিক শক্তি তাদের উপর কাজ করে না, তবে একটি বস্তু যে গতি হারায় তা অন্যটি অর্জন করবে, নিশ্চিত করবে যে সিস্টেমের মোট গতি অপরিবর্তিত থাকবে।

রকেট প্রপালশনে, উদাহরণস্বরূপ, ভরবেগ সংরক্ষণ ব্যাখ্যা করে কিভাবে রকেটগুলি মহাকাশে চলতে পারে, যেখানে ধাক্কা দেওয়ার মতো কোনো বায়ু বা স্থল নেই। রকেট যখন এক দিকে উচ্চ বেগে জ্বালানি বের করে, তখন বিপরীত দিকে সমান পরিমাণে গতি পায়। এই নীতিটিই মহাকাশযানকে স্থানান্তরিত করতে এবং স্থানের শূন্যতার মধ্য দিয়ে ভ্রমণ করতে দেয়। একইভাবে, গুলি চালানোর সময় একটি বন্দুকের পশ্চাদপসরণকে গতির সংরক্ষণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা যেতে পারে: বুলেট একটি নির্দিষ্ট গতির সাথে এগিয়ে যায় এবং বন্দুকটি সমান এবং বিপরীত গতির সাথে পিছনে চলে যায়, যদিও বন্দুকের ভারী ভর মানে এটির তুলনায় অনেক বেশি ধীর গতিতে চলে বুলেট।

কৌণিক ভরবেগ, রৈখিক ভরবেগের একটি ঘূর্ণনশীল সমতুল্য,ও সংরক্ষণ করা হয়। এই আইনটিই ফিগার স্কেটারদের দ্রুত ঘোরানোর অনুমতি দেয় যখন তারা তাদের বাহুগুলি তাদের শরীরের কাছে টানতে পারে। স্কেটার যখন তাদের বাহুগুলিকে ভিতরের দিকে টেনে আনে, তারা তাদের ঘূর্ণন জড়তা হ্রাস করে, এবং কৌণিক ভরবেগকে অবশ্যই সংরক্ষণ করতে হবে, ক্ষতিপূরণের জন্য তাদের ঘূর্ণন গতি বৃদ্ধি পায়। নক্ষত্র এবং ছায়াপথ গঠনের ক্ষেত্রে এই একই নীতি কার্যকর হয়, যেখানে মহাকর্ষের অধীনে গ্যাসের বিশাল মেঘ ভেঙে পড়ে, এবং তারা যেমন করে, তারা দ্রুত ঘোরে, অবশেষে তারা এবং ক্ল্যাক হালের চারপাশে গ্যালাক্সি এবং অ্যান্ড্রিডন ডিস্কগুলির ঘূর্ণায়মান ডিস্ক গঠন করে।

চার্জ সংরক্ষণ আরেকটি মৌলিক নীতি, বিশেষ করে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের ক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ। বৈদ্যুতিক চার্জ, অনেকটা শক্তি এবং ভরবেগের মতো, একটি বিচ্ছিন্ন সিস্টেমে তৈরি বা ধ্বংস করা যায় না। এর মানে হল যে কোনও প্রক্রিয়ায়, আগে এবং পরে মোট বৈদ্যুতিক চার্জের পরিমাণ স্থির থাকতে হবে। উদাহরণস্বরূপ, যদি একটি ইলেকট্রনের মতো নেতিবাচক চার্জযুক্ত একটি কণা একটি বিক্রিয়ায় ধ্বংস হয়ে যায়, তবে এটিকে অবশ্যই অন্য একটি ঋণাত্মক চার্জ দ্বারা প্রতিস্থাপিত করতে হবে বা পজিট্রনের মতো একটি ধনাত্মক চার্জ তৈরির সাথে যুক্ত করতে হবে, যাতে চার্জটি নিশ্চিত হয়।

সংরক্ষিত এই নীতিটি রাসায়নিক বিক্রিয়া বোঝার ক্ষেত্রে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ, যেখানে পরমাণুর মধ্যে চার্জের প্রবাহ রাসায়নিক বন্ধন গঠন এবং ভাঙার জন্য চালিত হয়। ইলেকট্রনগুলি আয়নিক বন্ধনে এক পরমাণু থেকে অন্য পরমাণুতে স্থানান্তরিত হতে পারে, অথবা তাদের সমযোজী বন্ধনে ভাগ করা যেতে পারে, তবে সিস্টেমে মোট চার্জ সর্বদা ভারসাম্যপূর্ণ থাকে। এমনকি কণা পদার্থবিদ্যায়, যেখানে বহিরাগত কণাগুলি উচ্চ-শক্তির সংঘর্ষে তৈরি এবং ধ্বংস হয়ে যায়, সেখানে চার্জের সংরক্ষণ অক্ষত থাকে। উদাহরণস্বরূপ, জোড়া উৎপাদনে, যেখানে একটি উচ্চ-শক্তির ফোটন একটি ইলেক্ট্রন এবং একটি পজিট্রন তৈরি করে, সেখানে সিস্টেমের নেট চার্জ শূন্য থাকে, কারণ ইলেকট্রনের একটি ঋণাত্মক চার্জ থাকে এবং পজিট্রনের একটি সমান এবং বিপরীত ধনাত্মক চার্জ থাকে।

বৈদ্যুতিক সার্কিটের আচরণে চার্জ সংরক্ষণও একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। একটি সরল বর্তনীতে, একটি জংশনে প্রবেশ করে কারেন্টের পরিমাণ (যা বৈদ্যুতিক চার্জের প্রবাহ) সেটিকে ছেড়ে যাওয়া কারেন্টের পরিমাণের সমান হতে হবে। এটি কির্চফের বর্তমান আইন হিসাবে পরিচিত এবং এটি চার্জ সংরক্ষণের একটি প্রত্যক্ষ পরিণতি। ইলেকট্রন প্রতিরোধক, ক্যাপাসিটর বা ইন্ডাক্টরের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হোক না কেন, বাহ্যিক পরিবেশে কোনো চার্জ নষ্ট না হওয়া পর্যন্ত সিস্টেমে মোট চার্জের পরিমাণ স্থির থাকে।

এই সংরক্ষণ আইন শুধুমাত্র বিমূর্ত নীতি নয়; তারা পদার্থবিদ্যার সমস্যা সমাধানের জন্য অপরিহার্য হাতিয়ার। যখন আমরা জানি যে শক্তি, ভরবেগ, বা চার্জ সংরক্ষণ করা আবশ্যিক, তখন আমরা এই

সীমাবদ্ধতাগুলিকে ভৌত সিস্টেমে অজানা পরিমাণ গণনা করতে ব্যবহার করতে পারি। উদাহরণস্বরূপ, একটি স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষে, যেখানে দুটি গাড়ি সংঘর্ষে জড়িয়ে পড়ে এবং একসাথে লেগে থাকে, আমরা সংঘর্ষের পরে সঠিক বেগ নাও জানতে পারি, তবে ভরবেগ সংরক্ষণ প্রয়োগ করে, আমরা ধ্বংসাবশেষের চূড়ান্ত গতি নির্ধারণ করতে পারি।

কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বে, সংরক্ষণ আইন আরও গভীর হয়ে ওঠে। কণাগুলি শক্তি, ভরবেগ, চার্জ এবং অন্যান্য পরিমাণ যেমন ব্যারিয়ন নম্বর এবং লেপটন নম্বরের জন্য কঠোর সংরক্ষণ আইন মেনে চলে, নিশ্চিত করে যে কণাগুলির মধ্যে মিথস্ক্রিয়া কঠোর নিয়ম অনুসরণ করে। এক্সিলারেটরে কণার সংঘর্ষে, আগত কণার মোট শক্তি এবং ভরবেগ অবশ্যই বহির্গামী কণার মোট শক্তি এবং ভরবেগের সমান হবে, এমনকি যখন নতুন কণা তৈরি হয়। নিউট্রিনোর আবিষ্কার, উদাহরণস্বরূপ, বিটা ক্ষয়-এ শক্তি এবং ভরবেগ সংরক্ষণের স্পষ্ট লঙ্ঘনের দ্বারা চালিত হয়েছিল, এবং এই ক্ষুদ্র, অধরা কণার অবস্থান এই ক্ষয় প্রক্রিয়াগুলির ভারসাম্য পুনরুদ্ধার করেছিল।

সংরক্ষণ আইনের সার্বজনীনতা পরামর্শ দেয় যে তারা কেবল সুবিধাজনক গাণিতিক নিয়ম নয়, তবে মহাবিশ্ব কীভাবে কাজ করে সে সম্পর্কে গভীর, মৌলিক সত্যগুলি প্রতিফলিত করে। এগুলি পদার্থবিজ্ঞানের আইনের প্রতিসাম্যের মধ্যে নিহিত, যেমনটি নোথারের উপপাদ্য দ্বারা প্রমাণিত, যা অবিচ্ছিন্ন প্রতিসাম্যগুলিকে সংরক্ষণ আইনের সাথে সংযুক্ত করে। সত্য যে শক্তি সংরক্ষিত হয় তা সময়ের সাপেক্ষে ভৌত আইনের প্রতিসাম্যকে প্রতিফলিত করে: সময় বাড়ার সাথে সাথে আইনগুলি পরিবর্তিত হয় না এবং এটি সরাসরি শক্তি সংরক্ষণের দিকে নিয়ে যায়। গতিবেগ সংরক্ষণ স্থানের প্রতিসাম্যের সাথে যুক্ত: একটি সিস্টেমকে একটি ভিন্ন স্থানে সরানো তার মৌলিক আচরণকে পরিবর্তন করে না। চার্জ সংরক্ষণ ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের ক্ষেত্রে গেজ প্রতিসাম্যের সাথে আবদ্ধ, যা প্রকৃতির মৌলিক প্রতিসাম্যগুলির মধ্যে একটি।

পদার্থবিজ্ঞানের বিশাল পরিসরে, এই সংরক্ষণ আইনগুলি মহাবিশ্ব সম্পর্কে আমরা যা জানি তার অনেক কিছুই ভিত্তি প্রদান করে। সাবটমিক কণার আচরণ বোঝার ক্ষেত্রে, ছায়াপথগুলির গতিশীলতা, বা বস্তুর দৈনন্দিন মিথস্ক্রিয়া, শক্তি, ভরবেগ এবং চার্জ সংরক্ষণ আমাদের ফলাফলের পূর্বাভাস দেওয়ার এবং বাস্তবতাকে নিয়ন্ত্রণ করে এমন অন্তর্নিহিত প্রতিসাম্যগুলি বোঝার জন্য একটি কাঠামো দেয়।

কোয়ান্টাম ফিল্ডে গেজ সিমেন্ট্রি এবং তাদের ভূমিকা

গেজ প্রতিসাম্যগুলি আধুনিক কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের কেন্দ্রবিন্দুতে রয়েছে, আমরা কীভাবে মৌলিক কণা এবং তাদের নিয়ন্ত্রণকারী শক্তিগুলির মধ্যে মিথস্ক্রিয়া বুঝতে পারি তার একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। একটি গেজ প্রতিসাম্য এমন এক ধরনের প্রতিসাম্যকে বোঝায় যেখানে একটি ক্ষেত্রের নির্দিষ্ট রূপান্তরগুলি একটি সিস্টেমের ভৌত বৈশিষ্ট্যগুলিকে অপরিবর্তিত রাখে। স্থান এবং সময়ের প্রতিসাম্যের বিপরীতে, গেজ প্রতিসাম্যগুলি আরও বিমূর্ত, চার্জ, রঙ (কোয়ার্কের ক্ষেত্রে) বা অন্যান্য অন্তর্নিহিত বৈশিষ্ট্যের মতো কণার অভ্যন্তরীণ বৈশিষ্ট্যগুলিতে প্রয়োগ করা হয়। এই প্রতিসাম্যগুলি সরাসরি বল ক্ষেত্র এবং ফোটন, গ্লুয়ন এবং W/Z বোসনের মতো কণার অস্তিত্বের দিকে নিয়ে যায়, যা যথাক্রমে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক, শক্তিশালী এবং দুর্বল বলগুলির মধ্যস্থতা করে।

গেজ প্রতিসাম্যের গুরুত্ব বোঝার জন্য, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড দিয়ে শুরু করা সহায়ক, যা কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকস (QED) দ্বারা বর্ণিত হয়েছে। এই কাঠামোতে, গেজ প্রতিসাম্য বৈদ্যুতিক চার্জ সংরক্ষণের সাথে সম্পর্কিত। মূল ধারণাটি হল যে ইলেকট্রনের মতো চার্জযুক্ত কণার তরঙ্গক্রিয়ায় আপনি যদি স্থানীয় পর্যায়ে পরিবর্তন করেন তবে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডটি অপরিবর্তনীয় (অপরিবর্তিত) হওয়া উচিত। এই ফেজ শিফট এক ধরনের অভ্যন্তরীণ রূপান্তর, এবং যদিও এটি একটি ছোট প্রযুক্তিগত বিশদ বলে মনে হতে পারে, এটির বিশাল পরিণতি রয়েছে। আপনি যখন এই গেজ প্রতিসাম্যটি প্রয়োগ করেন, তখন এই

প্রতিসাম্য রক্ষার জন্য একটি ক্ষেত্র - ইলেক্টোম্যাগনেটিক ক্ষেত্র - থাকা আবশ্যিক। ফোটন, আলোর কণা, এই ক্ষেত্রের বাহক হিসাবে আবির্ভূত হয়। সুতরাং, গেজ প্রতিসাম্য শুধুমাত্র ত্বের গঠন বর্ণনা করে না; এটি বল বহনকারী কণার অস্তিত্বের ভবিষ্যদ্বাণী করে।

মোটকথা, ইলেক্টোম্যাগনেটিক বল একটি স্থানীয় গেজ প্রতিসাম্য প্রয়োগ থেকে উদ্ভূত হয়। আরও সুনির্দিষ্টভাবে, এই গেজ প্রতিসাম্যটি $U(1)$ গ্রুপ দ্বারা বর্ণনা করা হয়েছে, একটি গাণিতিক গ্রুপ যা ইলেক্ট্রনের তরঙ্গ ফাংশনের ফেজ ঘূর্ণনকে প্রতিনিধিত্ব করে। ইলেক্টোম্যাগনেটিজম এত গভীরভাবে গেজ প্রতিসাম্যের মধ্যে নিহিত রয়েছে তা ব্যাখ্যা করে কেন বৈদ্যুতিক চার্জ সংরক্ষণ করা হয় - এটি এই প্রতিসাম্যের একটি সরাসরি পরিণতি। প্রতিবার আপনি তড়িৎচুম্বকত্বের একটি তত্ত্ব লিখেন, চার্জ সংরক্ষণ ত্বের কাঠামোর মধ্যে তৈরি হয় এবং গেজ ইনভেরিয়েন্স নিশ্চিত করে যে এটি সমস্ত মিথস্ক্রিয়ায় ধারণ করে।

গেজ প্রতিসাম্য, তবে, ইলেক্টোম্যাগনেটিজমের মধ্যে সীমাবদ্ধ নয়। কণা পদার্থবিজ্ঞানের স্ট্যান্ডার্ড মডেল, যা মাধ্যাকর্ষণ ব্যতীত সমস্ত পরিচিত মৌলিক শক্তিকে বর্ণনা করে, এটি গেজ প্রতিসাম্যের অনেক বড় কাঠামোর উপর নির্মিত। উদাহরণস্বরূপ, শক্তিশালী বল, যা প্রোটন এবং নিউট্রনের ভিতরে কোয়ার্ককে একত্রে ধারণ করে, কোয়ান্টাম ক্রোমোডাইনামিক্স (QCD) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। এই শক্তির সাথে যুক্ত প্রতিসাম্য গোষ্ঠীকে বলা হয় $SU(3)$, এবং জড়িত "চার্জগুলি" রঙের চার্জ হিসাবে পরিচিত, যদিও তাদের প্রকৃত রঙের সাথে কিছুই করার নেই। এই ক্ষেত্রে, গেজ প্রতিসাম্য বর্ণনা করে যে কীভাবে কোয়ার্কগুলি এই রঙের চার্জগুলির বিনিময়ে রূপান্তরিত হতে পারে এবং এই ত্বের জন্য এই মিথস্ক্রিয়াগুলির মধ্যস্থতা করার জন্য গ্লুয়নের অস্তিত্ব প্রয়োজন, শক্তিশালী বলের বল বাহক।

তেজস্ক্রিয় ত্বের মতো প্রক্রিয়াগুলির জন্য দায়ী দুর্বল বল একটি গেজ প্রতিসাম্য দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় যাতে আরও জটিল গঠন জড়িত, যা $SU(2) \times U(1)$ প্রতিসাম্য নামে পরিচিত। এই প্রতিসাম্যটি W এবং Z বোসনগুলির অস্তিত্বের ভবিষ্যদ্বাণী করে, যা দুর্বল বলের মধ্যস্থতা করে। ফোটন বা গ্লুয়নের বিপরীতে, যা ভরহীন, W এবং Z বোসনগুলি বিশাল। তাদের ভর স্বতঃস্ফূর্ত প্রতিসাম্য ভাঙ্গার কারণে উদ্ভূত হয়, একটি প্রক্রিয়া যেখানে ত্বের প্রতিসাম্য লুকানো হয় বা কম শক্তিতে "ভাঙ্গা" হয়, যদিও এটি এখনও উচ্চ শক্তিতে বিদ্যমান থাকে। হিগস মেকানিজম, এই প্রক্রিয়ার একটি গুরুত্বপূর্ণ অংশ, ত্বের সামগ্রিক গেজ প্রতিসাম্য সংরক্ষণের সাথে সাথে এই বল-বহনকারী কণাগুলিকে ভর অর্জন করতে দেয়।

গেজ প্রতিসাম্যগুলিই কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বকে এত শক্তিশালী এবং ভবিষ্যদ্বাণীমূলক করে তোলে। তারা কণাগুলির যে ধরনের মিথস্ক্রিয়া থাকতে পারে তা সীমাবদ্ধ করে এবং নিশ্চিত করে যে নির্দিষ্ট পরিমাণ, যেমন চার্জ এবং রঙ, সংরক্ষণ করা হয়। গেজ প্রতিসাম্য ছাড়া, কণার মধ্যে শক্তি সম্পর্কে আমাদের বোঝা অসম্পূর্ণ এবং কম একীভূত হবে। উদাহরণ স্বরূপ, ইলেক্ট্রোওয়েক তত্ত্বে ইলেক্টোম্যাগনেটিক এবং দুর্বল শক্তির একীকরণ গেজ প্রতিসাম্যের উপর নির্ভর করে, কীভাবে উচ্চ শক্তিতে, এই দুটি আপাতদৃষ্টিতে স্বতন্ত্র শক্তি এক হিসাবে আচরণ করে। এই তাত্ত্বিক একীকরণ পরীক্ষামূলকভাবে W এবং Z বোসন আবিষ্কার এবং 2012 সালে হিগস বোসনের পরবর্তী আবিষ্কার দ্বারা নিশ্চিত করা হয়েছিল।

গেজ প্রতিসাম্যের সবচেয়ে আকর্ষণীয় দিকগুলির মধ্যে একটি হল কীভাবে তারা আমাদেরকে নতুন পদার্থবিজ্ঞানের দিকে পরিচালিত করে। গেজ প্রতিসাম্যের ধারণাটি এতটাই শক্তিশালী যে এটি প্রায়শই কণা বা মিথস্ক্রিয়াগুলির পূর্বাভাসের দিকে নিয়ে যায় যা এখনও পর্যবেক্ষণ করা হয়নি। উদাহরণস্বরূপ, গ্র্যান্ড ইউনিফাইড তত্ত্বগুলিতে (GUTs), যার লক্ষ্য ইলেক্টোম্যাগনেটিক, দুর্বল এবং শক্তিশালী শক্তিগুলিকে একক কাঠামোতে একীভূত করা, বৃহত্তর গেজ প্রতিসাম্য গোষ্ঠীগুলি প্রস্তাব করা হয়েছে। এই তত্ত্বগুলি নতুন কণা এবং মিথস্ক্রিয়াগুলির ভবিষ্যদ্বাণী করে, যার মধ্যে কিছু শুধুমাত্র অত্যন্ত উচ্চ শক্তিতে স্পষ্ট হয়ে উঠতে পারে, যা আমরা বর্তমানে কণা ত্বরণকারীর সাথে অনুসন্ধান করতে পারি তার চেয়ে অনেক বেশি।

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের বিস্তৃত প্রেক্ষাপটে, গেজ প্রতিসাম্যগুলি বোঝার জন্য অন্তর্নিহিত কাঠামো প্রদান করে যে কণাগুলি কীভাবে মিথস্ক্রিয়া করে, কীভাবে বলগুলি মধ্যস্থতা করা হয় এবং কেন ফোটন বা গ্লুওনের মতো নির্দিষ্ট কণাগুলি তারা যেভাবে আচরণ করে তা বোঝার জন্য। কেন স্ট্যান্ডার্ড মডেল প্রকৃতির পরিচিত শক্তি বর্ণনা করতে এত ভাল কাজ করে তার একটি মৌলিক অংশ। তবে তারা এগিয়ে যাওয়ার পথও নির্দেশ করে, পরামর্শ দেয় যে আরও গভীর প্রতিসাম্য থাকতে পারে, সম্ভবত স্ট্রিং থিওরি বা অন্য এখনও অনাবিষ্কৃত কাঠামোর মাধ্যমে একটি সম্পূর্ণ একীভূত তত্ত্বে মহাকর্ষের সাথে পরিচিত বলগুলিকে সংযুক্ত করে।

সংক্ষেপে, গেজ প্রতিসাম্য হল অদৃশ্য ভারী যা কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বকে একত্রে ধারণ করে। তারা কণার মিথস্ক্রিয়া নির্দেশ করে, মৌলিক পরিমাণের সংরক্ষণ নিশ্চিত করে এবং কণার মধ্যে মিথস্ক্রিয়া মধ্যস্থতাকারী বল বাহকের অস্তিত্বের পূর্বাভাস দেয়। ফোটন এবং গ্লুয়ন থেকে শুরু করে W এবং Z বোসন পর্যন্ত, এই প্রতিসাম্যগুলি মহাবিশ্বের সবচেয়ে মৌলিক স্তরে একটি সুসংগত ছবি নির্মাণে অপরিহার্য বলে প্রমাণিত হয়েছে। গেজ প্রতিসাম্য ছাড়া, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র, কণার মিথস্ক্রিয়া এবং প্রকৃতির শক্তিগুলির আধুনিক উপলব্ধি অসম্পূর্ণ হবে।

অধ্যায় ৭

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের মিথস্ক্রিয়া

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের শক্তি: উদাহরণ হিসাবে তড়িৎচুম্বকত্ব

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বে, বলগুলিকে কণার মধ্যে মিথস্ক্রিয়াগুলির পরিপ্রেক্ষিতে বর্ণনা করা হয়, প্রতিটি বল একটি নির্দিষ্ট ক্ষেত্র এবং সংশ্লিষ্ট কণা দ্বারা মধ্যস্থতা করে। ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম এই ধারণাটি বোঝার জন্য নিখুঁত উদাহরণ, কারণ এটি দৈনন্দিন জীবনের সবচেয়ে পরিচিত শক্তিগুলির মধ্যে একটি এবং কোয়ান্টাম ক্ষেত্র কাঠামোর মধ্যে সবচেয়ে মার্জিতভাবে বর্ণিত একটি। শাস্ত্রীয় পদার্থবিজ্ঞানে, তড়িৎচুম্বকত্বকে সেই বল বলা হয় যা ইলেকট্রন এবং প্রোটনের মতো চার্জযুক্ত কণাকে একে অপরের আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করে। কিন্তু কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বে, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম এর থেকে আরও গভীরে যায়: এটি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের সাথে কণার মিথস্ক্রিয়া দ্বারা বোঝা যায়, বিশেষত ফোটন নামে পরিচিত কণাগুলির সাথে, যা বল বাহক।

কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরিতে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম বর্ণনা করার ভিত্তি হল ক্ষেত্রগুলির ধারণার মাধ্যমে, যা একটি অবিচ্ছিন্ন পরিমাণ যা স্থান এবং সময় জুড়ে বিদ্যমান। ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের জন্য, আমরা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড ব্যবহার করি, যার একটি যুক্ত কোয়ান্টাম ক্ষেত্র রয়েছে যাকে ফোটন ক্ষেত্র বলা হয়। এই কাঠামোতে, ইলেকট্রনের মতো চার্জযুক্ত কণাগুলি এই ক্ষেত্রের সাথে যোগাযোগ করে এবং ফোটনের নির্গমন এবং শোষণের মাধ্যমে শক্তি বিনিময় করে। এই ফোটনগুলি ভরহীন কণা যা আলোর গতিতে চলে, চার্জযুক্ত কণার মধ্যে তড়িৎচুম্বকত্বের বল বহন করে। যখন দুটি ইলেকট্রন একে অপরের কাছাকাছি আসে, তখন তারা ভার্চুয়াল ফোটন বিনিময়ের মাধ্যমে যোগাযোগ করে, যা আমরা পর্যবেক্ষণ করি এমন

বিকর্ষণমূলক ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বল তৈরি করে। ফোটনের এই আদান-প্রদান, যদিও অদৃশ্য এবং তাৎক্ষণিক, ফলে ইলেকট্রনকে আলাদা করে রাখে এমন বল।

এটি কীভাবে গাণিতিকভাবে কাজ করে? তা বোঝার জন্য, আমরা কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকস (QED) এর দিকে ফিরে যাই, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব যা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বলকে বর্ণনা করে। QED ব্যাখ্যা করে যে একটি ইলেকট্রনের মতো চার্জযুক্ত কণার চারপাশে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রটি তার আশেপাশে থাকা অন্যান্য কণার সাথে অগণিত ফোটন বিনিময়ের ফলাফল। এই তত্ত্বে, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক মিথস্ক্রিয়াটির শক্তি জড়িত কণাগুলির বৈদ্যুতিক চার্জ দ্বারা নির্ধারিত হয়। চার্জ যত শক্তিশালী, মিথস্ক্রিয়া তত শক্তিশালী, কারণ উচ্চ চার্জ মানে আরও ফোটন বিনিময় হচ্ছে। এই বৈশিষ্ট্যটি সংজ্ঞায়িত করে যে কণাগুলি একে অপরের উপস্থিতি কতটা দৃঢ়ভাবে অনুভব করে, এমনকি যখন তারা সরাসরি যোগাযোগে না থাকে।

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বে ফোটনগুলি "বাস্তব" বা "অবাস্তব" হতে পারে। বাস্তব ফোটন হল যাকে আমরা আলো হিসাবে দেখি - তারা পর্যবেক্ষণযোগ্য এবং দীর্ঘ দূরত্বে শক্তি বহন করে, যেমন একটি আলোর বাস্তব আলো। ভার্চুয়াল ফোটন, তবে, অস্থায়ী, শুধুমাত্র কণার মধ্যে মিথস্ক্রিয়ায় মধ্যস্থতাকারী হিসাবে বিদ্যমান। এই ভার্চুয়াল ফোটনগুলি সরাসরি পর্যবেক্ষণযোগ্য নয়, তবে তারা শক্তিগুলিকে দূরত্বে প্রেরণ করতে সক্ষম করে এবং তারা চার্জগুলির মধ্যে মিথস্ক্রিয়ার "তথ্য" বহন করে। উদাহরণস্বরূপ, যখন একটি ইলেক্ট্রন কাছাকাছি অন্য একটি ইলেক্ট্রনের উপস্থিতি অনুভব করে, এটি এই ভার্চুয়াল ফোটনগুলির ক্রমাগত, দ্রুত বিনিময়ের কারণে, যা একটি যোগাযোগ সেতুর মতো কাজ করে।

কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরিতে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের একটি আকর্ষণীয় দিক হল যে এটি একটি "গেজ তত্ত্ব", বিশেষত একটি $U(1)$ গেজ প্রতিসাম্য সহ। এই প্রতিসাম্যটি একটি গাণিতিক সম্পত্তি যা তত্ত্বের সামঞ্জস্যতা নিশ্চিত করে, চার্জ সংরক্ষণ করে এবং একটি দীর্ঘ-পাল্লার শক্তি হিসাবে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমকে সক্রিয় করে। গেজ প্রতিসাম্যের প্রয়োজনীয়তা বোঝায় যে কণাগুলি নড়াচড়া করে এবং ইন্টারঅ্যাক্ট করে, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড এই প্রতিসাম্য বজায় রাখতে নিজেকে সামঞ্জস্য করে। এই সামঞ্জস্যই ফোটনের শক্তি বাহক হিসেবে উপস্থিতির দিকে পরিচালিত করে এবং ফোটনগুলি ভরহীন হওয়ার কারণও। যদি ফোটনের ভর থাকে, তবে তড়িৎ চৌম্বকীয় বলের পরিসর সীমিত হবে, কারণ এটি দুর্বল বলের মতো অন্যান্য শক্তিতে, যা খুব অল্প দূরত্বে কাজ করে কারণ এর মধ্যস্থতাকারী (W এবং Z বোসন) বিশাল।

QED এবং ক্ষেত্র তত্ত্বের একটি গুরুত্বপূর্ণ ধারণা হল "সূক্ষ্ম-গঠন ধ্রুবক", প্রায়ই α হিসাবে চিহ্নিত করা হয়। এই ধ্রুবকটি একটি মাত্রাবিহীন সংখ্যা যা প্রকৃতিতে তড়িৎ চৌম্বকীয় বলের শক্তি নির্ধারণ করে। ব্যবহারিক ক্ষেত্রে, এটি ফোটন ক্ষেত্রের সাথে ইলেক্ট্রনগুলি কতটা দৃঢ়ভাবে যোগাযোগ করে তা প্রভাবিত করে। এর মান, আনুমানিক $1/137$, তুলনামূলকভাবে ছোট, এই কারণেই ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম এমন একটি শক্তি যা শক্তিশালী পারমাণবিক বলের মতো অন্যান্য শক্তির তুলনায় দীর্ঘ-সীমার এবং কম তীব্র হতে পারে। এই ছোট মানটির অর্থ হল QED গণনা, যার মধ্যে ফোটন এক্সচেঞ্জের প্রভাবগুলি গণনা করা জড়িত, খুব সুনির্দিষ্ট হতে পারে। এর কারণ হল মিথস্ক্রিয়াগুলি জটিলতায় "বিস্ফোরিত" হয় না, QED কে সমস্ত বিস্তারনের সবচেয়ে নির্ভুল তত্ত্বগুলির মধ্যে একটি করে তোলে, যা পরীক্ষায় অনেক দশমিক স্থানে নিশ্চিত করা হয়েছে।

ফাইনম্যান ডায়াগ্রামের পরিপ্রেক্ষিতে, যা কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বে ব্যবহৃত ভিজ্যুয়াল উপস্থাপনা, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের মিথস্ক্রিয়াগুলি কল্পনা করা সহজ। উদাহরণস্বরূপ, যদি একটি ইলেক্ট্রন একটি ফোটন নির্গত বা শোষণ করে, একটি ফাইনম্যান চিত্র এই প্রক্রিয়াটিকে একটি ইলেকট্রন লাইন (স্থান-কালের মাধ্যমে ইলেকট্রনের গতিক প্রতিনিধিত্ব করে)হিসেবে এটির সাথে সংযুক্ত একটি ফোটন লাইন (ফোটন বিনিময় প্রতিনিধিত্ব করে) হিসেবে দেখাতে পারে। এই ডায়াগ্রামগুলি কণাগুলি কীভাবে ইন্টারঅ্যাক্ট করে তার একটি পরিষ্কার ছবি দেয় এবং QED-তে তারা দেখায় যে কীভাবে ভার্চুয়াল ফোটনগুলি তড়িৎ চৌম্বকীয় বল তৈরি করতে চার্জযুক্ত কণাগুলির মধ্যে ক্রমাগত পিছনে পিছনে চলে যায়।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বে ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের ভূমিকা গভীর। কারণ এটি অন্যান্য সমস্ত বল-বহনকারী মিথস্ক্রিয়াগুলির প্রোটোটাইপ। QED-এর মাধ্যমে এর সফল বর্ণনা অন্যান্য মৌলিক শক্তিগুলি বোঝার মঞ্চ তৈরি করেছে, যেগুলিকে এখন অনুরূপ ক্ষেত্র বিনিময়ের মাধ্যমে পরিচালিত হিসেবে দেখা হয়। শক্তিশালী বল, দুর্বল বল এবং এমনকি মাধ্যাকর্ষণ (মাধ্যাকর্ষণ তত্ত্বের কোয়ান্টাম তত্ত্ব তৈরি করার প্রচেষ্টায়) সমস্তই গেজ প্রতিসাম্য এবং বিনিময় কণার সাথে ক্ষেত্রের মিথস্ক্রিয়াগুলির অনুরূপ নীতি অনুসরণ করে। এই উপলব্ধিটি মৌলিক শক্তি সম্পর্কে আমাদের বোঝার একীকরণের দিকে একটি গুরুত্বপূর্ণ পদক্ষেপ ছিল, এটি পরামর্শ দেয় যে আমরা যে শক্তিগুলি দেখি তা প্রতিসাম্য নীতি দ্বারা পরিচালিত বিভিন্ন অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রের মিথস্ক্রিয়াগুলির প্রকাশ।

কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বে, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম এইভাবে উদাহরণ দেয় যে কীভাবে বাহিনী রহস্যময় "দূরত্বে ক্রিয়া" নয় বরং ক্ষেত্রের মিথস্ক্রিয়া এবং কণা বিনিময়ের ফলাফল। এই দৃষ্টিকোণটি কেবলমাত্র কোয়ান্টাম স্তরে মিথস্ক্রিয়া বোঝার জন্য একটি স্পষ্ট কাঠামো সরবরাহ করে না তবে কোয়ান্টাম এবং শক্তির ক্লাসিক্যাল দৃষ্টিভঙ্গির মধ্যে ব্যবধানও দূর করে। সুতরাং, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফোর্স — কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির লেন্সের মাধ্যমে — ফোটন এক্সচেঞ্জের একটি মার্জিত নৃত্য হয়ে ওঠে, যা প্রতিসাম্য দ্বারা গঠিত এবং কণার চার্জ বৈশিষ্ট্য দ্বারা পরিচালিত হয়, যা শেষ পর্যন্ত প্রকৃতির কাজগুলির মধ্যে একটি গভীর অন্তর্দৃষ্টি প্রদান করে।

বিনিময় কণা (ফোটন, গ্লুয়ন, ইত্যাদি)

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বে, বিনিময় কণা, যা বল বাহক বা গেজ বোসন নামেও পরিচিত, হল মৌলিক কণা যা অন্যান্য কণার মধ্যে মিথস্ক্রিয়া মধ্যস্থতা করে। যখন আমরা কোয়ান্টাম স্তরে শক্তি সম্পর্কে কথা বলি, আমরা আসলে চার্জ বা রঙের চার্জের মতো নির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্যযুক্ত কণাগুলির মধ্যে এই কণাগুলির বিনিময়কে বর্ণনা করি। বিনিময় কণাগুলি প্রতিটি মৌলিক বলের জন্য আলাদা হয় এবং বাস্তবে সরাসরি যোগাযোগ না করে কণাগুলি কীভাবে ইন্টারঅ্যাক্ট করে তা বোঝার চাবিকাঠি।

উদাহরণস্বরূপ, ফোটন নিন। ফোটন হল ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বলের বিনিময় কণা, যে বল ইলেকট্রন এবং প্রোটনের মতো চার্জযুক্ত কণার মধ্যে কাজ করে। কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকসে (QED), যা হল ক্ষেত্র তত্ত্ব যা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক মিথস্ক্রিয়া বর্ণনা করে, ফোটনগুলি ভরহীন এবং কোন বৈদ্যুতিক চার্জ নেই, যা তাদের আলোর গতিতে ভ্রমণ করতে দেয়। যখন দুটি চার্জযুক্ত কণা, ধরুন দুটি ইলেকট্রন, একে অপরের কাছে আসে, তারা ভার্চুয়াল ফোটনের বিনিময়ের মাধ্যমে একে অপরকে বিকর্ষণ করে। এই ফোটনগুলি "ভার্চুয়াল" কারণ তারা শুধুমাত্র সংক্ষিপ্তভাবে বিদ্যমান, মিথস্ক্রিয়ায় মধ্যস্থতাকারী হিসেবে। এই ভার্চুয়াল ফোটনগুলির ক্ষুব্ধক আদান-প্রদান আমাদের কণাগুলির মধ্যে শক্তি হিসেবে যা উপলব্ধি করে তা তৈরি করে, যদিও তারা শারীরিকভাবে স্পর্শ করে না। এই বিনিময়টি এমনভাবে ঘটে যে কণার মধ্যে দূরত্ব বাড়ার সাথে সাথে বল হ্রাস পায়, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজমের মতো দূরপাল্লার শক্তির একটি বৈশিষ্ট্য।

শক্তিশালী পারমাণবিক বলের জন্য, যে বল প্রোটন এবং নিউট্রনের ভিতরে কোয়ার্ককে একত্রে ধরে রাখে, বিনিময় কণাগুলি হল গ্লুয়ন। গ্লুয়নগুলি অনন্য কারণ তারা "কালার চার্জ" নামক একটি সম্পত্তি বহন করে যা শক্তিশালী বলের সাথে সম্পর্কিত, যা কোয়ান্টাম ক্রোমোডাইনামিকস (QCD) নামেও পরিচিত। ফোটনের বিপরীতে, গ্লুয়নগুলি একে অপরের সাথে যোগাযোগ করে কারণ তারা একই ধরনের চার্জ বহন করে যা তারা মধ্যস্থতা করে, এই কারণেই শক্তিশালী বল অবিস্বাস্যভাবে শক্তিশালী এবং শুধুমাত্র খুব অল্প দূরত্বে কাজ করে। গ্লুয়নের এই স্ব-মিথস্ক্রিয়া শক্তিশালী বলকে ছোট দূরত্বে অত্যন্ত শক্তিশালী করে তোলে কিন্তু বড় স্কেলে প্রায় অস্তিত্বহীন। গ্লুয়নগুলি মূলত "আঠালো" কোয়ার্কগুলিকে এমনভাবে একত্রিত করে যে

আপনি যদি তাদের আলাদা করার চেষ্টা করেন তবে তাদের মধ্যে বল আসলে বৃদ্ধি পায়, এই কারণেই কোয়ার্কগুলিকে কখনই বিচ্ছিন্ন অবস্থায় পাওয়া যায় না।

দুর্বল পারমাণবিক শক্তি, যা তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের মতো প্রক্রিয়াগুলিকে নিয়ন্ত্রণ করে, W এবং Z বোসন দ্বারা মধ্যস্থতা করা হয়। ফোটন এবং গ্লুয়নের বিপরীতে, W এবং Z বোসন হল বিশাল কণা, যে কারণে দুর্বল বল শুধুমাত্র স্বল্প দূরত্বে কাজ করে। W বোসন একটি বৈদ্যুতিক চার্জ বহন করে (ধনাত্মক বা ঋণাত্মক), যখন Z বোসন বৈদ্যুতিকভাবে নিরপেক্ষ। তাদের বৃহৎ ভর কণাগুলির জন্য দীর্ঘ দূরত্বে W বা Z বোসন বিনিময় করা কঠিন করে তোলে, কার্যকরভাবে দুর্বল মিথস্ক্রিয়াকে একটি পারমাণবিক নিউক্লিয়াসের আকারের চারপাশে অত্যন্ত স্বল্প পরিসরে সীমাবদ্ধ করে। এই বৈশিষ্ট্যটি অনেক পারমাণবিক বিক্রিয়ায় এবং সূর্যের ফিউশন প্রক্রিয়ায় অপরিহার্য, যেখানে দুর্বল বল প্রোটনকে নিউট্রনে রূপান্তর করতে সক্ষম করে, নক্ষত্রে শক্তি উৎপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় একটি প্রক্রিয়া।

মাধ্যাকর্ষণ শক্তি, যা ভরের সাথে সবকিছুকে প্রভাবিত করে, এটিও মহাকর্ষ নামে একটি বিনিময় কণা রয়েছে বলে মনে করা হয়, যদিও এই কণাটি পরীক্ষামূলকভাবে পর্যবেক্ষণ করা হয়নি। যদি মহাকর্ষ বিদ্যমান থাকে, তাহলে তারা সম্ভবত ভরবিহীন, ফোটনের মতোই হবে এবং বৃহৎ দূরত্বে একটি শক্তির মধ্যস্থতা করবে। মহাকর্ষকে অন্যান্য শক্তির তুলনায় অত্যন্ত দুর্বল হতে হবে, যা এই সত্যের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ যে মাধ্যাকর্ষণ ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম, শক্তিশালী বল, এমনকি কোয়ান্টাম স্কেলে দুর্বল বলের চেয়ে অনেক দুর্বল। যেহেতু মাধ্যাকর্ষণ অসীম দূরত্বের উপর এবং ভর সহ সমস্ত বস্তুর উপর কাজ করে, তাই এটি একটি সর্বজনীন শক্তি হিসেবে বোঝা যায় কিন্তু কোয়ান্টাম মেকানিক্সের কাঠামোর মধ্যে মাপসই করার জন্য এটি সবচেয়ে কঠিন শক্তিগুলির মধ্যে একটি, প্রাথমিকভাবে কারণ এটি একটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব তৈরি করা চ্যালেঞ্জিং যা মাধ্যাকর্ষণকে সুন্দরভাবে বর্ণনা করে, অন্যান্য শক্তি হিসেবে।

বিনিময় কণাগুলির একটি আকর্ষণীয় দিক হল কীভাবে তারা কণার মধ্যে সরাসরি "টান" বা "ধাক্কা" না করে বলগুলিকে মিথস্ক্রিয়া হিসাবে কাজ করতে দেয়। কোয়ান্টাম জগতে, বল বাহকগুলির বিনিময় মিথস্ক্রিয়াগুলির একটি গতিশীল ক্ষেত্র তৈরি করে যেখানে কণাগুলি ক্রমাগত এই মধ্যস্থতাকারী কণাগুলিকে নির্গত করে এবং শোষণ করে। এই ক্রমাগত বিনিময় কণাগুলিকে একটি ভৌত সেতু ছাড়াই স্থান জুড়ে একে অপরকে প্রভাবিত করতে দেয়। মূলত, "বল" কণার মধ্যে একটি বাস্তব রেখা নয়, বরং অগণিত, অদৃশ্য বিনিময়ের ফলাফল যা তাদের আচরণকে গঠন করে।

ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম, কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের একটি ভিজুয়লাইজেশন টুল, এই মিথস্ক্রিয়াগুলিকে চিত্রিত করে। তারা স্থান-কাল অতিক্রম করার সাথে সাথে ভার্চুয়াল ফোটন, গ্লুয়ন, বা W/Z বোসন বিনিময় করে ইলেকট্রন বা কোয়ার্কের মতো কণাগুলিকে চিত্রিত করে। ফাইনম্যান ডায়াগ্রামের প্রতিটি লাইন এবং শীর্ষবিন্দু এমন একটি মুহূর্তকে উপস্থাপন করে যেখানে কণাগুলি একটি বিনিময় কণা নির্গত বা শোষণ করে, পদার্থবিদদের বিভিন্ন মিথস্ক্রিয়া ফলাফলের সম্ভাব্যতা গণনা করতে সহায়তা করে।

উচ্চ শক্তির স্কেলে, এই বিনিময় কণা এবং তারা যে শক্তিগুলি মধ্যস্থতা করে তা আরও গভীর একীকরণের ইঙ্গিত দেয়। ইলেক্ট্রোওয়েক তত্ত্ব, উদাহরণস্বরূপ, দেখায় যে অত্যন্ত উচ্চ শক্তিতে, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক এবং দুর্বল বলগুলি একক শক্তিতে একত্রিত হয়। এই একীকরণ বোঝায় যে বিভিন্ন শক্তির মধ্যে পার্থক্য - এবং তাদের সংশ্লিষ্ট বিনিময় কণাগুলি - মৌলিক পার্থক্যের পরিবর্তে শক্তির স্কেলগুলির ফলাফল হতে পারে। গ্র্যান্ড ইউনিফাইড তত্ত্বগুলি (GUTs) এটিকে আরও এক ধাপ এগিয়ে নিয়ে যায়, পরামর্শ দেয় যে এমনকি উচ্চতর শক্তিতে, শক্তিশালী বলটি ইলেক্ট্রোওয়েক ফোর্সের সাথেও মিশে যেতে পারে, যা প্রারম্ভিক মহাবিশ্বের একক, একীভূত বলের জটিলতা কমিয়ে দেয়। যাইহোক, এর জন্য প্রত্যক্ষ প্রমাণ খোঁজার জন্য আমরা বর্তমানে যা অর্জন করতে পারি তার চেয়ে অনেক বেশি শক্তি অন্বেষণ করতে হবে।

সংশ্লেপে, ফোটন, ফ্লয়ন, ডব্লিউ এবং জেড বোসন এবং সম্ভাব্য গ্র্যাভিটনের মত বিনিময় কণা হল কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের মৌলিক শক্তির মূল বার্তাবাহক। তারা কণাগুলিকে দূরত্বের উপর যোগাযোগ করতে দেয়, চার্জ বা রঙের মতো সংরক্ষণ আইন বজায় রাখে এবং আমরা সমস্ত স্কেলে পর্যবেক্ষণ করি এমন পরিচিত শক্তির জন্ম দেয়। প্রতিটি এক্সচেঞ্জ কণার অনন্য বৈশিষ্ট্য রয়েছে যা তার সংশ্লিষ্ট শক্তির জন্য তৈরি করা হয়েছে, ফোটনের ভরহীনতা থেকে অসীম-পরিসরের ইলেক্টোম্যাগনেটিক মিথস্ক্রিয়া সক্রিয় করে স্ব-ইন্টারঅ্যাক্টিং, রঙ-চার্জড ফ্লয়ন বাইন্ডিং কোয়ার্ক পর্যন্ত। এই কণাগুলি বোঝা আমাদের শক্তির দৃষ্টিকোণকে নতুন আকার দিয়েছে, ধ্রুপদী "টান এবং ধাক্কা" থেকে কণা বিনিময় দ্বারা চালিত গতিশীল মিথস্ক্রিয়াতে চলে গেছে, যা সবই কোয়ান্টাম জগতের গভীর, মার্জিত প্রতিসাম্য দ্বারা সংযুক্ত।

কোয়ান্টাম ইলেক্টোডাইনামিকস (কিউইডি) মূল বিষয়বস্তু

কোয়ান্টাম ইলেক্টোডাইনামিকস (কিউইডি) হল কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব যা আলোক এবং পদার্থ কীভাবে ইন্টারঅ্যাক্ট করে তা বর্ণনা করে। এটি পদার্থবিজ্ঞানের সবচেয়ে সফল তত্ত্বগুলির মধ্যে একটি হিসেবে বিবেচিত হয় কারণ এটি ইলেকট্রন, ফোটন এবং ইলেক্টোম্যাগনেটিজমের মাধ্যমে তাদের মিথস্ক্রিয়াগুলির আচরণের সঠিকভাবে পূর্বাভাস দেয়। QED-এর কেন্দ্রবিন্দুতে এই ধারণাটি রয়েছে যে ইলেক্টোম্যাগনেটিজম — যে শক্তি বৈদ্যুতিক চার্জযুক্ত কণাগুলির মধ্যে মিথস্ক্রিয়া পরিচালনা করে — ফোটন নামক কণার বিনিময়ের মাধ্যমে বোঝা যায়। এই ফোটনগুলি কেবল দৃশ্যমান আলো নয়; তারা ইলেকট্রন, প্রোটন এবং অন্যান্য চার্জযুক্ত কণা সহ সমস্ত ইলেক্টোম্যাগনেটিক মিথস্ক্রিয়া প্রতিনিধিত্ব করে।

QED-তে, কণাগুলিকে তাদের নিজ নিজ ক্ষেত্রে উত্তেজনা হিসাবে গণ্য করা হয়: ইলেকট্রন হল ইলেকট্রন ক্ষেত্রে উত্তেজনা, এবং ফোটন হল ইলেক্টোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রে উত্তেজনা। যখন দুটি চার্জযুক্ত কণা ইন্টারঅ্যাক্ট করে, তারা ফোটন বিনিময় করে তা করে, যা তাদের মধ্যে তড়িৎ চৌম্বকীয় বল প্রেরণ করে। এই বিনিময়টিকে কণা হিসেবে কল্পনা করা যেতে পারে ফোটনগুলিকে সামনে পিছনে "ছুঁড়ে" দেয়, তাদের একে অপরের উপস্থিতি "অনুভব" করতে দেয়। উদাহরণস্বরূপ, দুটি ইলেকট্রন ভারুয়াল ফোটন নির্গত এবং শোষণ করে একে অপরকে বিকর্ষণ করে যা একটি বিকর্ষণকারী শক্তি তৈরি করে। এই প্রক্রিয়াটি এত দ্রুত এবং ক্রমাগত ঘটে যে মনে হয় যেন কণাগুলি ক্রমাগত একে অপরের দূরত্ব এবং চার্জ অনুভব করছে।

QED এছাড়াও বর্ণনা করে কিভাবে ইলেকট্রনের মত কণা ফোটন নির্গত বা শোষণ করতে পারে। এভাবেই ইলেকট্রন ইলেক্টোম্যাগনেটিক ফিল্ডের সাথে মিথস্ক্রিয়া করে — হয় বিকিরণ করে বা ফোটন গ্রহণ করে। যখন একটি ইলেকট্রন একটি ফোটন শোষণ করে, তখন এটি একটি উচ্চ শক্তি স্তরে লাফ দিতে পারে; যখন এটি একটি ফোটন নির্গত করে, তখন এটি শক্তি হারায়, একটি নিম্ন শক্তির অবস্থায় চলে যায়। এই মিথস্ক্রিয়াটি আলোক নির্গমনের মতো ঘটনাগুলির জন্য অপরিহার্য, যেখানে উত্তেজিত ইলেকট্রন ফোটন প্রকাশ করে, দৃশ্যমান আলো বা বিকিরণের অন্যান্য রূপ তৈরি করে।

QED এর একটি মৌলিক দিক হল এটি কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং বিশেষ আপেক্ষিকতা উভয়ের নীতিই ব্যবহার করে। কোয়ান্টাম মেকানিক্স আমাদের বলে যে কণাগুলি একই সাথে একাধিক অবস্থায় থাকতে পারে, সম্ভাব্যতা দ্বারা বর্ণিত তাদের বৈশিষ্ট্য সহ, যখন আপেক্ষিকতা আমাদের দেখায় যে আলোর গতি ধ্রুবক এবং তথ্য এবং শক্তি কত দ্রুত ভ্রমণ করতে পারে তার সর্বোচ্চ সীমা নির্ধারণ করে। QED এই ধারণাগুলিকে বৈদ্যুতিক চৌম্বকীয় ক্ষেত্র এবং কণাগুলিকে সম্ভাব্যতা দ্বারা নিয়ন্ত্রিত কোয়ান্টাম বস্তু হিসেবে বিবেচনা করে, কিন্তু আলোর গতিতে মিথস্ক্রিয়া ঘটবে তাও নিশ্চিত করে।

QED এর সম্ভাব্য প্রকৃতির মানে হল যে আমরা প্রতিটি ফোটন এক্সচেঞ্জ বা মিথস্ক্রিয়ার জন্য সঠিক ফলাফলের সঠিকভাবে পূর্বাভাস দিতে পারি না। পরিবর্তে, আমরা পদার্থবিজ্ঞানী রিচার্ড ফাইনম্যান দ্বারা তৈরি করা ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম ব্যবহার করে বিভিন্ন ফলাফলের সম্ভাব্যতা গণনা করি। এই চিত্রগুলি

কণাগুলির মধ্যে মিথস্ক্রিয়াগুলি কল্পনা করার একটি উপায়: প্রতিটি লাইন একটি কণার পথকে প্রতিনিধিত্ব করে এবং প্রতিটি শীর্ষবিন্দু (বা ছেদ) একটি মিথস্ক্রিয়াকে প্রতিনিধিত্ব করে, যেমন একটি ইলেক্ট্রন নির্গত বা একটি ফোটন শোষণ করে। QED এর নিয়মগুলি অনুসরণ করে, আমরা একটি ইলেকট্রন বা ফোটন গ্রহণ করতে পারে এমন প্রতিটি সম্ভাব্য পথের সম্ভাবনা গণনা করতে পারি।

QED-তে, একটি কণা যে সমস্ত সম্ভাব্য পথ গ্রহণ করতে পারে তা আসলে সেই কণার সামগ্রিক আচরণে অবদান রাখে। এখানেই পথ ইন্টিগ্রালের ধারণাটি আসে: একটি কণার জন্য একটি একক ট্রাজেক্টোরি অনুমান করার পরিবর্তে, QED দুটি বিন্দুর মধ্যে সম্ভাব্য সমস্ত পথ বিবেচনা করে, সম্ভাব্যতার সাথে তাদের ওজন করে। এই পদ্ধতিটি উল্লেখযোগ্যভাবে শক্তিশালী কারণ এটি কণাগুলির অদ্ভুত, "তরঙ্গ-সদৃশ" আচরণের জন্য দায়ী, যেমন হস্তক্ষেপ এবং বিচ্ছুরণ, যেখানে কণাগুলি নিজেদের সাথে যোগাযোগ করে বা প্যাটার্নে চলে বলে মনে হয় যা একটি ধ্রুপদী, অনুমানযোগ্য বিশ্বে অসম্ভব।

QED একটি "পুনর্নির্মিত" তত্ত্ব হওয়ার জন্যও উল্লেখযোগ্য। এর মানে হল যে যদিও QED সমীকরণগুলি প্রাথমিকভাবে নির্দিষ্ট পরিমাণের জন্য অসীম মানগুলির দিকে পরিচালিত করে বলে মনে হয় - যেমন একটি ইলেক্ট্রনের নিজস্ব ক্ষেত্রের শক্তি - এই অসীমগুলিকে পুনর্নবীকরণ নামক একটি প্রক্রিয়ার মাধ্যমে পরিচালনা করা যেতে পারে। এই অসীমগুলিকে সাবধানে বাতিল করে, QED ইলেক্ট্রনের চৌম্বকীয় মুহূর্তের মতো পর্যবেক্ষণযোগ্য পরিমাণের জন্য সসীম, সঠিক ভবিষ্যদ্বাণী দেয়। নির্ভুলতার এই স্তরটি অতুলনীয়; QED ভবিষ্যদ্বাণীগুলি অসাধারণ নির্ভুলতার জন্য নিশ্চিত করা হয়েছে, এটিকে পদার্থবিজ্ঞানের সবচেয়ে কঠোরভাবে পরীক্ষিত তত্ত্বগুলির মধ্যে একটি করে তুলেছে।

QED-এর মূল ধারণাগুলির মধ্যে একটি হল সূক্ষ্ম-গঠন ধ্রুবক, প্রায়শই α দ্বারা প্রতীকী, যা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক মিথস্ক্রিয়াটির শক্তি বর্ণনা করে। এটি একটি মাত্রাবিহীন সংখ্যা, প্রায় $1/137$ এর সমান, যা ইলেকট্রন এবং প্রোটনের মতো দৃঢ়ভাবে চার্জযুক্ত কণাগুলি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের সাথে কতটা ইন্টারঅ্যাক্ট করে তা নির্ধারণ করে। একটি ছোট সূক্ষ্ম-গঠন ধ্রুবক মানে হল যে QED মিথস্ক্রিয়াগুলি অন্যান্য শক্তির তুলনায় তুলনামূলকভাবে দুর্বল, যেমন শক্তিশালী বলে, এই কারণেই ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম অপ্রতিরোধ্য প্রভাব ছাড়াই বড় দূরত্বে কাজ করতে পারে।

QED এছাড়াও অন্যান্য শক্তি বোঝার পথ প্রশস্ত করেছে। এর সাফল্য পদার্থবিদদের শক্তিশালী এবং দুর্বল পারমাণবিক শক্তির জন্য অনুরূপ কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব তৈরি করতে অনুপ্রাণিত করেছিল, যা কণা পদার্থবিজ্ঞানের স্ট্যান্ডার্ড মডেলের বিকাশের দিকে পরিচালিত করেছিল। এই মডেলটি QED কে শক্তিশালী এবং দুর্বল শক্তির বর্ণনার তত্ত্বের সাথে একীভূত করে, প্রাথমিক কণাগুলি কীভাবে আচরণ করে তার জন্য একটি বিস্তৃত কাঠামো সরবরাহ করে।

কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকস পদার্থবিদ্যায় বৈপ্লবিক পরিবর্তন এনেছে দেখিয়েছে যে বলগুলি রহস্যময় "টান" বা "ধাক্কা" নয় বরং কণা বিনিময়ের ফলাফল। এই ধারণাটি পারমাণবিক এবং আণবিক কাঠামো থেকে তারা এবং মহাজাগতিক রশ্মির কণার আচরণ পর্যন্ত ক্ষুদ্রতম স্কেলে মিথস্ক্রিয়া সম্পর্কে আমাদের বোঝার পরিবর্তন করেছে। QED এর নির্ভুলতা এবং কমণীয়তা দেখিয়েছে যে মহাবিশ্ব ক্ষেত্র এবং কণাগুলির মাধ্যমে পরস্পর সংযুক্ত যা ক্রমাগত তথ্য বিনিময় করে, আলো, পদার্থ এবং শক্তির জটিল নৃত্য তৈরি করে যা আমাদের বাস্তবতাকে সংজ্ঞায়িত করে।

ফাইনম্যান ডায়াগ্রামস: ভিজুয়লাইজিং ইন্টারঅ্যাকশনের জন্য একটি শিক্ষানবিস গাইড

ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম হল পদার্থবিদ্যার একটি শক্তিশালী ভিজুয়াল টুল, বিশেষ করে কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরিতে, কণাগুলি কীভাবে ইন্টারঅ্যাক্ট করে তা বোঝার জন্য। পদার্থবিজ্ঞানী রিচার্ড ফাইনম্যান দ্বারা

তৈরি, এই চিত্রগুলি কেবল স্কেচ নয়; এগুলি হল জটিল সমীকরণ এবং মিথস্ক্রিয়াগুলিকে এমন কিছুতে সরল করার একটি উপায় যা আমরা দেখতে এবং ব্যাখ্যা করতে পারি। সারমর্মে, ফাইনম্যান ডায়াগ্রামগুলি স্থানকালের মধ্যে কণার মিথস্ক্রিয়াকে প্রতিনিধিত্ব করে, কণার গতিবিধি, তাদের মিথস্ক্রিয়া, এবং বল বহনকারী কণার বিনিময় (যেমন ফোটন, গ্লুয়ন বা W এবং Z বোসন) সবই সরল রেখা এবং বিন্দুর মাধ্যমে দেখানো হয়। ফাইনম্যান ডায়াগ্রামের প্রতিটি উপাদান কণার আচরণের একটি দিক, কণার নির্গমন এবং শোষণ থেকে শুরু করে তাদের নিয়ন্ত্রণকারী শক্তিগুলির সাথে মিলে যায়।

ফাইনম্যান ডায়াগ্রামের মূল উপাদানগুলির মধ্যে রয়েছে রেখা এবং শীর্ষবিন্দু। রেখাগুলি স্থান এবং সময়ের মধ্য দিয়ে ভ্রমণকারী কণাগুলির প্রতিনিধিত্ব করে। এই রেখাগুলি প্রায়শই সরল বা তরঙ্গায়িত হয়, যা প্রতিনিধিত্ব করা কণার ধরণের উপর নির্ভর করে। উদাহরণস্বরূপ, ইলেক্ট্রন এবং অন্যান্য ফার্মিয়ন (অর্ধ-পূর্ণসংখ্যা স্পিন সহ কণা) সাধারণত তীর সহ সরল রেখা হিসেবে দেখানো হয় যা তাদের দিক নির্দেশ করে। ফোটন এবং অন্যান্য বল-বহনকারী কণা, বা বোসন (পূর্ণসংখ্যা স্পিন সহ কণা), প্রায়শই তরঙ্গায়িত বা কোঁকড়া রেখা দ্বারা প্রতিনিধিত্ব করা হয় যাতে বোঝা যায় যে তারা বলকে মধ্যস্থ করে। শীর্ষবিন্দু — যেখানে লাইন মিলিত হয় — মিথস্ক্রিয়া ঘটনাগুলিকে প্রতিনিধিত্ব করে, যেমন যখন একটি ইলেক্ট্রন ফোটন নির্গত বা শোষণ করে। প্রতিটি লাইন এবং শীর্ষবিন্দু সম্ভাব্যতা, শক্তি এবং সংরক্ষণ আইন সম্পর্কে গাণিতিক তথ্য বহন করে, যা কণার মিথস্ক্রিয়ায় বিভিন্ন ফলাফলের সম্ভাবনা গণনা করার জন্য গুরুত্বপূর্ণ।

কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকসের (QED) সবচেয়ে মৌলিক মিথস্ক্রিয়া হল একটি ইলেকট্রন এবং একটি ফোটনের মধ্যে। একটি মৌলিক ফাইনম্যান ডায়াগ্রামে, একটি ইলেকট্রন স্থানের মধ্য দিয়ে চলমান একটি ফোটন নির্গত করতে পারে, যা ইলেক্ট্রনের সরল-রেখার পথ থেকে শাখা তরঙ্গায়িত রেখা দ্বারা উপস্থাপিত হয়। এই সাধারণ মিথস্ক্রিয়াটি একটি বৃহত্তর অনুক্রমের অংশ হতে পারে, যেখানে সেই ফোটনটি অন্য ইলেক্ট্রনের সাথে মিথস্ক্রিয়া করতে যায়, মিথস্ক্রিয়াগুলির একটি শৃঙ্খল তৈরি করে যা দেখায় কিভাবে কণাগুলি সরাসরি যোগাযোগ ছাড়াই একে অপরের উপর শক্তি প্রয়োগ করে। বিনিময়ের প্রবাহ হিসেবে মিথস্ক্রিয়াগুলিকে কল্পনা করে, ফাইনম্যান ডায়াগ্রামগুলি অন্তর্নিহিত গণিত জটিল হলেও কণাগুলি কীভাবে আচরণ করে তা বোঝার একটি স্বজ্ঞাত উপায় প্রদান করে।

ফাইনম্যান ডায়াগ্রামের সৌন্দর্য হল যে তারা একাধিক সম্ভাব্য পথ এবং মিথস্ক্রিয়াগুলির জন্য দায়ী। কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, কণাগুলি কেবল এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে একক পথ নেয় না। পরিবর্তে, তারা একই সাথে প্রতিটি সম্ভাব্য পথ গ্রহণ করে, প্রতিটি পথ কণাটি কোথায় শেষ হবে তার সামগ্রিক সম্ভাবনাতে অবদান রাখে। ফাইনম্যান ডায়াগ্রামে, আমরা এই প্রতিটি পথকে একটি ভিন্ন লাইন বা মিথস্ক্রিয়াগুলির সেট হিসেবে কল্পনা করতে পারি। উদাহরণস্বরূপ, যদি একটি ইলেকট্রন একটি ফোটন নির্গত করে বা ক্ষেত্র থেকে একটি শোষণ করে অন্য কণার সাথে যোগাযোগ করতে পারে, উভয় সম্ভাবনাই পৃথক চিত্রে দেখানো হবে। এই ডায়াগ্রামগুলি সমস্ত সম্ভাব্য মিথস্ক্রিয়াগুলিকে অন্তর্ভুক্ত করে, মোট সম্ভাব্যতা গণনা করতে একত্রিত হয়।

আরও জটিল ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম একাধিক বিনিময় এবং মিথস্ক্রিয়া প্রতিনিধিত্ব করতে পারে। যখন কণাগুলি বারবার ইন্টারঅ্যাকশন করে - যেমন দুটি ইলেকট্রন ক্রমাগত ভার্চুয়াল ফোটন বিনিময় করে একে অপরকে প্রতিহত করে - ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম এই এক্সচেঞ্জগুলিকে পুনরাবৃত্ত মিথস্ক্রিয়াগুলির সিরিজ হিসাবে স্ট্যাক করে। প্রতিটি অতিরিক্ত ফোটন বিনিময়ের সাথে, গণনা আরও জটিল হয়ে ওঠে, তবে প্রতিটি পদক্ষেপ আমাদের খেলার শক্তিগুলির একটি সঠিক চিত্রের কাছাকাছি নিয়ে আসে। লুপ সহ চিত্রগুলি (লুপ ডায়াগ্রাম বলা হয়) এমন পরিস্থিতিতে উপস্থাপন করে যেখানে কণাগুলি এমনভাবে ইন্টারঅ্যাক্ট করতে পারে যা অস্থায়ীভাবে কণা-অ্যান্টি পার্টিকেল জোড়া তৈরি করে, যা পরে ধ্বংস হয়ে যায়। এই ভার্চুয়াল কণাগুলি শুধুমাত্র একটি সংক্ষিপ্ত মুহূর্তের জন্য বিদ্যমান, কিন্তু তারা সামগ্রিক মিথস্ক্রিয়াকে প্রভাবিত করে, ল্যাম্ব শিফটের মতো ঘটনাগুলিতে অবদান রাখে, যা হাইড্রোজেন পরমাণুর মধ্যে একটি পর্যবেক্ষণযোগ্য প্রভাব।

চিত্রগুলি সংরক্ষণ আইনের উপর ভিত্তি করে কঠোর নিয়ম অনুসরণ করে। একটি ফাইনম্যান ডায়াগ্রামের প্রতিটি শীর্ষবিন্দু শক্তি এবং ভরবেগের সংরক্ষণের নিয়ম মেনে চলে, যার অর্থ হল একটি মিথস্ক্রিয়ায় প্রবেশ করা এবং ছেড়ে যাওয়া কণাগুলির শক্তি, ভর এবং দিকনির্দেশের ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট সম্পর্ক রয়েছে। চার্জ সংরক্ষণকেও সম্মান করা হয়, নিশ্চিত করে যে মিথস্ক্রিয়াগুলি কোয়ান্টাম ইলেক্ট্রোডাইনামিকসের কাঠামোর মধ্যে বোঝা যায়। এই নিয়মগুলি ফাইনম্যান ডায়াগ্রামগুলিকে একটি শক্তিশালী হাতিয়ার করতে সাহায্য করে, কারণ তারা শুধুমাত্র একটি ভিজ্যুয়াল উপস্থাপনা প্রদান করে না বরং ফলাফলের ভবিষ্যদ্বাণী করার জন্য পদার্থবিজ্ঞানীরা ব্যবহার করা গাণিতিক গণনাগুলিকেও গাইড করে।

ফাইনম্যান ডায়াগ্রামগুলিও অত্যাবশ্যক কারণ তারা জটিল গণনাকে সরল ও শ্রেণীবদ্ধ করতে সাহায্য করে। এগুলি ছাড়া, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বটি সমীকরণের একটি বিশাল গোলকধাঁধা হবে, প্রতিটি শব্দ বিভিন্ন মিথস্ক্রিয়া এবং কণা বিনিময় প্রতিনিধিত্ব করে। এই মিথস্ক্রিয়াগুলিকে ডায়াগ্রামে সংগঠিত করে, পদার্থবিদরা পদ্ধতিগতভাবে সমস্যাগুলির মধ্য দিয়ে কাজ করতে পারেন, প্রতিটি ডায়াগ্রামের অবদান গণনা করে এবং একটি চূড়ান্ত ফলাফলের জন্য তাদের একসাথে যুক্ত করতে পারেন। এই ধাপে ধাপে পদ্ধতির কারণেই ফাইনম্যান ডায়াগ্রামগুলি কণা পদার্থবিদ্যায় একটি আদর্শ ভাষা হয়ে উঠেছে, যেখানে মিথস্ক্রিয়াগুলি অবিস্বাস্যভাবে জটিল হতে পারে।

যদিও তারা অত্যন্ত দরকারী, ফাইনম্যান ডায়াগ্রামের তাদের সীমাবদ্ধতা রয়েছে। তারা QED-তে ইলেকট্রন এবং ফোটনের মতো দুর্বলভাবে মিথস্ক্রিয়াকারী কণাগুলির জন্য সর্বোত্তম কাজ করে, কারণ এই মিথস্ক্রিয়াগুলি ডায়াগ্রাম ব্যবহার করে উচ্চ নির্ভুলতার সাথে গণনা করা যেতে পারে। কোয়ান্টাম ক্রোমোডাইনামিক্স (QCD) এর কোয়ার্কের মত দৃঢ়ভাবে মিথস্ক্রিয়াকারী কণাগুলির জন্য, যেখানে মিথস্ক্রিয়াগুলি অনেক বেশি তীব্র এবং জটিল, ফাইনম্যান চিত্রগুলি কম ব্যবহারিক হয়ে ওঠে। তবুও, তারা এখনও কণা পদার্থবিজ্ঞানের মূল্যবান অন্তর্দৃষ্টি প্রদান করে, পদার্থবিদদের বিকল্প পদ্ধতি বিকাশ করতে সক্ষম করে যখন স্ট্যান্ডার্ড ডায়াগ্রামগুলি যথেষ্ট না হয়।

সংক্ষেপে, ফাইনম্যান ডায়াগ্রামগুলি কণা এবং শক্তির অদৃশ্য জগতকে কল্পনা করার একটি মার্জিত উপায়। তারা আমাদের মিথস্ক্রিয়াগুলির গঠন দেখতে দেয়, যেখানে কণাগুলি বল বহনকারী কণার আদান প্রদান করে, সংরক্ষণ আইন মেনে চলে এবং সমস্ত সম্ভাব্য পথ অন্বেষণ করে। ফাইনম্যান ডায়াগ্রামের প্রতিটি লাইন এবং শীর্ষবিন্দু শুধুমাত্র একটি ভৌত প্রক্রিয়াই নয়, গাণিতিক তথ্যের একটি অপরিহার্য অংশও উপস্থাপন করে, যা পদার্থবিদদের প্রকৃতির মৌলিক শক্তিগুলি বোঝার জন্য তাদের অনুসন্ধানকে গাইড করে।

অধ্যায় ৮

স্ট্যান্ডার্ড মডেলে কোয়ান্টাম ফিল্ড

কণা পদার্থবিদ্যার স্ট্যান্ডার্ড মডেলের ভূমিকা

কণা পদার্থবিদ্যার স্ট্যান্ডার্ড মডেল হল মৌলিক কাঠামো যা ব্যাখ্যা করে কিভাবে সমস্ত পরিচিত কণা এবং বলগুলি (মাধ্যাকর্ষণ ব্যতীত) মহাবিশ্বে যোগাযোগ করে। এটি কণাগুলিকে শ্রেণীবদ্ধ করে, তাদের নিয়ন্ত্রণকারী শক্তিগুলিকে বর্ণনা করে এবং এই কণাগুলি কীভাবে আচরণ করে তা নির্দেশ করে এমন নিয়মগুলি তৈরি করে। এটিকে উপ-পরমাণু জগতের জন্য "পর্যায় সারণী" হিসাবে ভাবুন, সবকিছুকে নির্দিষ্ট ধরনের এবং অনন্য বৈশিষ্ট্য সহ পরিবারগুলিতে সংগঠিত করে।

এর মূলে, স্ট্যান্ডার্ড মডেল দুটি প্রধান ধরনের কণা চিহ্নিত করে: ফার্মিয়ন এবং বোসন। ইলেকট্রন এবং কোয়ার্কের মত ফার্মিয়ন হল পদার্থের "বিল্ডিং ব্লক"। পরমাণু থেকে নক্ষত্র পর্যন্ত আমরা মহাবিশ্বে যা দেখি তা তারা তৈরি করে। ফার্মিয়ন দুটি গ্রুপে বিভক্ত: লেপটন এবং কোয়ার্ক। লেপটনের মধ্যে রয়েছে ইলেকট্রন, যা একটি পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে প্রদক্ষিণ করে, সেইসাথে নিউট্রিনো, সামান্য ভরের অধরা কণা যা প্রায় যেকোনো কিছুইর মধ্য দিয়ে যেতে পারে। কোয়ার্ক হল সেই কণা যা প্রোটন এবং নিউট্রন তৈরি করে, যা পরমাণু নিউক্লিয়াস তৈরি করে। কোয়ার্কগুলি অনন্য যে তারা ছয় প্রকারে আসে, যা "স্বাদ" নামে পরিচিত: আপ, ডাউন, কমনীয়, অডুত, উপরে এবং নীচে। এই কোয়ার্কগুলি বিভিন্ন উপায়ে একত্রিত হয়ে বিভিন্ন কণা তৈরি করে, যা স্ট্যান্ডার্ড মডেল দ্বারা ব্যাখ্যা করা শক্তি দ্বারা একত্রিত হয়।

যে শক্তিগুলি কণাগুলি কীভাবে মিথস্ক্রিয়া করে তা নিয়ন্ত্রণ করে বোসন নামক কণার আরেকটি সেট দ্বারা মধ্যস্থতা করা হয়, যা "বল বাহক" হিসেবে কাজ করে। স্ট্যান্ডার্ড মডেলে, তিনটি মৌলিক বল রয়েছে: ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বল, দুর্বল পারমাণবিক বল এবং শক্তিশালী পারমাণবিক বল। ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বল বিদ্যুত, চুম্বকত্ব এবং আলোর জন্য দায়ী এবং আলোর কণা ফোটন দ্বারা বাহিত হয়। দুর্বল বল নির্দিষ্ট ধরনের তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের জন্য দায়ী এবং এটি W এবং Z বোসন দ্বারা বাহিত হয়। শক্তিশালী বল, যা একটি

পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে একসাথে ধরে রাখে, তিনটির মধ্যে সবচেয়ে শক্তিশালী এবং গ্লুয়ন নামক কণা দ্বারা মধ্যস্থতা করা হয়। এই বোসনগুলির প্রতিটি স্ট্যান্ডার্ড মডেলে একটি নির্দিষ্ট ভূমিকা পালন করে এবং ফার্মিয়নের সাথে তাদের মিথস্ক্রিয়া পদার্থের গঠন এবং আচরণকে নির্দেশ করে।

স্ট্যান্ডার্ড মডেলের সবচেয়ে চিত্তাকর্ষক দিকগুলির মধ্যে একটি হল প্রতিসাম্য, বিশেষ করে এক প্রকার যাকে গেজ প্রতিসাম্য বলা হয়, যা ব্যাখ্যা করতে সাহায্য করে কেন কণাগুলি নির্দিষ্ট উপায়ে আচরণ করে। গেজ প্রতিসাম্য স্ট্যান্ডার্ড মডেলের তিনটি শক্তির প্রতিটিকে অন্তর্নিহিত করে। উদাহরণস্বরূপ, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বল একটি নির্দিষ্ট গেজ প্রতিসাম্য দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়, যা ইলেকট্রন এবং প্রোটনের মতো চার্জযুক্ত কণা কীভাবে ফোটনের সাথে যোগাযোগ করে তা নির্দেশ করে। একইভাবে, দুর্বল এবং শক্তিশালী শক্তিগুলির প্রত্যেকের নিজস্ব গেজ প্রতিসাম্য রয়েছে। এই প্রতিসাম্যগুলি কেবল গাণিতিক কৌশল নয়; তারা গভীরভাবে কণা এবং শক্তির আচরণ এবং অস্তিত্বের সাথে আবদ্ধ।

স্ট্যান্ডার্ড মডেলে হিগস বোসনও রয়েছে, যাকে প্রায়ই "ঈশ্বর কণা" বলা হয়। 2012 সালে আবিষ্কৃত, হিগস বোসন অনন্য কারণ এটি কণার সাথে এমনভাবে যোগাযোগ করে যা তাদের ভর দেয়। হিগস ক্ষেত্র ছাড়া, এমন একটি ক্ষেত্র যা মহাবিশ্বকে বিস্তৃত করে এবং কণার সাথে মিথস্ক্রিয়া করে, মৌলিক কণাগুলি ভরহীন হবে এবং আলোর গতিতে ঘুরে বেড়াবে। হিগস ক্ষেত্র কণাকে "ধীরে ধীরে দেয়", তাদের ভর সরবরাহ করে, এই কারণেই ইলেক্ট্রন এবং কোয়ার্কের মতো কণার ভর রয়েছে যা তারা করে। হিগস বোসনের আবিষ্কার স্ট্যান্ডার্ড মডেলের একটি বড় অংশকে নিশ্চিত করেছে এবং এটি 21 শতকের সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য বৈজ্ঞানিক সাফল্যগুলির মধ্যে একটি।

যদিও স্ট্যান্ডার্ড মডেল ঘটনাগুলির একটি বিশাল অ্যারের ব্যাখ্যা করতে অত্যন্ত সফল হয়েছে, এটি একটি সম্পূর্ণ তত্ত্ব নয়। এর জন্য, এটি মহাকর্ষের জন্য দায়ী নয়, যা আইনস্টাইনের সাধারণ আপেক্ষিকতার তত্ত্ব দ্বারা বর্ণিত হয়েছে। মাধ্যাকর্ষণ এমন একটি শক্তি যা বিশাল বস্তুর উপর কাজ করে, কিন্তু স্ট্যান্ডার্ড মডেলে এমন কোনো কণা অন্তর্ভুক্ত নেই যা মহাকর্ষীয় মিথস্ক্রিয়ায় মধ্যস্থতা করবে। পদার্থবিদরা মনে করেন যে গ্র্যাভিটন নামক একটি অনুমানমূলক কণা থাকতে পারে যা কোয়ান্টাম স্তরে মহাকর্ষ ব্যাখ্যা করতে পারে, তবে এমন কোনও কণা এখনও আবিষ্কৃত হয়নি। অতিরিক্তভাবে, স্ট্যান্ডার্ড মডেল অন্ধকার পদার্থ এবং অন্ধকার শক্তি ব্যাখ্যা করে না, যা মহাবিশ্বের বেশিরভাগ ভর এবং শক্তি তৈরি করে। এই রহস্যময় উপাদানগুলি তাদের মহাকর্ষীয় প্রভাবের কারণে বিদ্যমান বলে পরিচিত, তবে তারা স্ট্যান্ডার্ড মডেলের কাঠামোর সাথে খাপ খায় না।

স্ট্যান্ডার্ড মডেলের বাইরে আরেকটি বড় রহস্য হল কেন মহাবিশ্বে প্রতিপদার্থের চেয়ে বেশি পদার্থ রয়েছে। স্ট্যান্ডার্ড মডেল অনুসারে, বিগ ব্যাং-এর সময় পদার্থ এবং প্রতিপদার্থ সমান পরিমাণে তৈরি হওয়া উচিত ছিল, যা পারস্পরিক বিনাশের দিকে নিয়ে যায়। কিন্তু কোনো না কোনোভাবে, আমাদের মহাবিশ্ব পদার্থে ভরা এবং প্রায় কোনো প্রতিপদার্থ নেই, এমন একটি ঘটনা যা পদার্থবিদরা এখনও বোঝার চেষ্টা করছেন। বুও, স্ট্যান্ডার্ড মডেলটি এখন পর্যন্ত বিকশিত সবচেয়ে সুনির্দিষ্ট তত্ত্বগুলির মধ্যে একটি। এর ভবিষ্যদ্বাণীগুলি অসাধারণ নির্ভুলতার জন্য পরীক্ষা করা হয়েছে এবং পরীক্ষামূলক ফলাফলগুলি ধারাবাহিকভাবে এটিকে সমর্থন করে। কণা ত্বরনকারী, যেমন লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডার (LHC), পদার্থবিদদের স্ট্যান্ডার্ড মডেলের ভবিষ্যদ্বাণী পরীক্ষা করতে সাহায্য করেছে অবিশ্বাস্যভাবে উচ্চ গতিতে কণাগুলিকে একত্রে ভেঙে দিয়ে, বিগ ব্যাং-এর ঠিক পরের অবস্থার মতো পরিস্থিতি তৈরি করে। এই পরীক্ষাগুলি কোয়ার্ক, লেপটন এবং গেজ বোসন সহ স্ট্যান্ডার্ড মডেল দ্বারা ভবিষ্যদ্বাণী করা বেশিরভাগ কণার অস্তিত্ব নিশ্চিত করেছে। প্রতিটি কণার আবিষ্কার ধাঁধার একটি অংশে পূর্ণ হয়েছে, যা মৌলিক কণা এবং শক্তি বোঝার জন্য স্ট্যান্ডার্ড মডেলটিকে আমাদের কাছে সবচেয়ে সঠিক মডেল তৈরি করেছে।

এর ফাঁক থাকা সত্ত্বেও, স্ট্যান্ডার্ড মডেল পদার্থবিদ্যায় অনেক অগ্রগতির ভিত্তি তৈরি করেছে এবং মহাবিশ্বকে এর সবচেয়ে মৌলিক স্তরে বুঝতে আমাদের সাহায্য করেছে। কণার আচরণকে শ্রেণীবদ্ধ করার এবং ভবিষ্যদ্বাণী করার একটি উপায় প্রদান করে, স্ট্যান্ডার্ড মডেল একটি পরমাণুর মধ্যে মিথস্ক্রিয়া থেকে মহাজাগতিক কাঠামো পর্যন্ত সমস্ত কিছুই অন্তর্ভুক্তি প্রদান করে। আজ, পদার্থবিজ্ঞানীরা স্ট্যান্ডার্ড মডেলের পরীক্ষা এবং পরিমার্জন চালিয়ে যাচ্ছেন, এমন সূত্র খুঁজে পাওয়ার আশায় যা আরও সম্পূর্ণ তত্ত্বের দিকে নিয়ে যাবে, যা মহাকর্ষ, অন্ধকার পদার্থ এবং অন্ধকার শক্তিকে অন্তর্ভুক্ত করে এবং শেষ পর্যন্ত মহাবিশ্বের সমস্ত শক্তি এবং কণাকে ব্যাখ্যা করে ইউনিফাইড ফ্রেমওয়ার্ক।

স্ট্যান্ডার্ড মডেলের ফিল্ডের ভূমিকা

কণা পদার্থবিজ্ঞানের স্ট্যান্ডার্ড মডেলে, ক্ষেত্রগুলি মৌলিক কণার মিথস্ক্রিয়া এবং আচরণ বোঝার জন্য কেন্দ্রীয়, কণাগুলিকে বিচ্ছিন্ন সত্তা হিসেবে দেখার পরিবর্তে, স্ট্যান্ডার্ড মডেল এমন ক্ষেত্রগুলির উপর নির্ভর করে যা সমস্ত স্থানকে বিস্তৃত করে, একটি কাঠামো প্রদান করে যার মধ্যে কণাগুলি বিদ্যমান এবং যোগাযোগ করতে পারে। ক্ষেত্রগুলি অবিচ্ছিন্ন, মহাবিশ্ব জুড়ে প্রসারিত, এবং প্রতিটি কণার ধরন একটি নির্দিষ্ট ক্ষেত্রের সাথে মিলে যায়। যখন আমরা এই মডেলের একটি কণা সম্পর্কে কথা বলি, তখন আমরা সত্যিই এর সংশ্লিষ্ট ক্ষেত্রে একটি স্থানীয় ব্যাঘাত বা "উত্তেজনা" উল্লেখ করছি। উদাহরণস্বরূপ, ইলেকট্রন হল ইলেকট্রন ক্ষেত্রের একটি উত্তেজনা, এবং একটি ফোটন হল ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রের একটি উত্তেজনা। এই পদ্ধতিটি কণাকে পৃথক বস্তু হিসেবে বিবেচনা করার চেয়ে কণার মিথস্ক্রিয়া সম্পর্কে আরও ব্যাপক বোঝার দেয়।

স্ট্যান্ডার্ড মডেলে বিভিন্ন ধরনের ক্ষেত্র রয়েছে, যার মধ্যে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ হল পদার্থ ক্ষেত্র এবং বল ক্ষেত্র। পদার্থ ক্ষেত্রগুলি ফার্মিয়নগুলির সাথে সম্পর্কিত, পদার্থের বিল্ডিং ব্লক, যেমন ইলেকট্রন এবং কোয়ার্ক। এই ফার্মিয়নগুলি কোয়ান্টাম ক্ষেত্র দ্বারা বর্ণনা করা হয় যা কোয়ান্টাম মেকানিক্সের নিয়ম অনুসরণ করে, কিভাবে পদার্থের কণা বিদ্যমান এবং একটি মাইক্রোস্কোপিক স্তরে যোগাযোগ করে তা নির্ধারণ করে। ফার্মিয়ন ক্ষেত্রগুলি মৌলিক কণার বৈশিষ্ট্যগুলিকে সংজ্ঞায়িত করে, যেমন চার্জ, স্পিন এবং ভর, এবং ব্যাখ্যা করতে সাহায্য করে যে কেন ব্যাপারটি এমনভাবে আচরণ করে। স্ট্যান্ডার্ড মডেলের প্রতিটি মৌলিক কণা, যেমন ইলেক্ট্রন বা কোয়ার্ক, একটি সংশ্লিষ্ট ক্ষেত্রের কারণে বিদ্যমান।

অন্যদিকে, বল ক্ষেত্রগুলি হল যা কণাগুলিকে ইন্টারঅ্যাক্ট করতে দেয় এবং তারা বোসনের সাথে যুক্ত থাকে, যেগুলি কণাগুলিকে মধ্যস্থতা করে। স্ট্যান্ডার্ড মডেলে, তিনটি মৌলিক শক্তি কণার মিথস্ক্রিয়া পরিচালনা করে: ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম, শক্তিশালী বল এবং দুর্বল বল। এই শক্তিগুলির প্রত্যেকটির নিজস্ব ক্ষেত্র এবং সংশ্লিষ্ট বোসন কণা রয়েছে। ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বল, উদাহরণস্বরূপ, ফোটন দ্বারা বাহিত হয়, যা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের উত্তেজনা। এই ক্ষেত্রটি ইলেকট্রন এবং প্রোটনের মতো চার্জযুক্ত কণাকে যোগাযোগ করতে সক্ষম করে, যার ফলে বিদ্যুৎ এবং চুম্বকত্বের মতো ঘটনা ঘটে। শক্তিশালী বল, যা পারমাণবিক নিউক্লিয়াসকে একত্রে ধারণ করে, গ্লুয়ন দ্বারা মধ্যস্থতা করা হয়, যা শক্তিশালী ক্ষেত্রে উত্তেজনা, এবং দুর্বল বলটি W এবং Z বোসন দ্বারা মধ্যস্থতা করে।

স্ট্যান্ডার্ড মডেলের প্রতিটি ক্ষেত্রে একটি গেজ প্রতিসাম্য হিসেবে পরিচিত। এই প্রতিসাম্যটি কেবল একটি গাণিতিক সুবিধা নয় তবে ক্ষেত্রগুলির আচরণ এবং বৈশিষ্ট্যগুলির জন্য মৌলিক। গেজ প্রতিসাম্য নির্দেশ করে কিভাবে কণাগুলি তাদের ক্ষেত্রের মধ্যে মিথস্ক্রিয়া করে এবং সংরক্ষণ আইনগুলিকে নিয়ন্ত্রণ করে, যেমন চার্জ বা ভরবেগ সংরক্ষণ। এই প্রতিসাম্যগুলির কারণেই বল ক্ষেত্রগুলি বিদ্যমান এবং কেন ফোটন, গ্লুয়ন এবং W/Z বোসনগুলির মতো বোসনগুলি বিদ্যমান এবং ফার্মিয়নের উপর কাজ করতে পারে। এই প্রতিসাম্যগুলি হল স্ট্যান্ডার্ড মডেলের শক্তিগুলিকে গাণিতিকভাবে বর্ণনা করা এবং সঠিকভাবে ভবিষ্যদ্বাণী করা যায়।

হিগস ক্ষেত্রটি স্ট্যান্ডার্ড মডেলের আরেকটি গুরুত্বপূর্ণ উপাদান। অন্যান্য ক্ষেত্রের থেকে ভিন্ন, হিগস ক্ষেত্র কণাকে তাদের ভর দেওয়ার জন্য দায়ী। এই ক্ষেত্রটি, যা মহাবিশ্বে বিস্তৃত, নির্দিষ্ট কণার সাথে এমনভাবে যোগাযোগ করে যা তাদের ধীর করে দেয়, তাদের জড়তা এবং ভর দেয়। হিগস বোসন এই ক্ষেত্রের সাথে যুক্ত কণা এবং পরীক্ষামূলকভাবে ২০১২ সালে নিশ্চিত করা হয়েছিল। হিগস ক্ষেত্রটি অনন্য কারণ এর মিথস্ক্রিয়াগুলি অসমমিত; এটি কিছু কণাকে ভর দেয়, যেমন W এবং Z বোসন, কিন্তু অন্যদের নয়, যেমন ফোটন, যা ভরহীন থাকে। এই ভর-উৎপাদন প্রক্রিয়াটি অপরিহার্য কারণ, এটি ছাড়া, মৌলিক কণাগুলি আলোর গতিতে চলে যাবে, আমরা যে পদার্থের কাঠামো পর্যবেক্ষণ করি তা গঠন করতে অক্ষম। ভ্যাকুয়াম ওঠানামা হল ক্ষেত্রগুলির আরেকটি দিক যা স্ট্যান্ডার্ড মডেলে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। এমনকি মহাকাশের শূন্যস্থানেও, যেখানে কোন কণা নেই বলে মনে হয়, ক্ষেত্রগুলি এখনও বিদ্যমান এবং ওঠানামা করে। এই অস্থিরতাগুলি ভারুয়াল কণার জন্ম দিতে পারে, যা সংক্ষিপ্ত মুহূর্তের জন্য অস্তিত্বের বাইরে চলে যায়। ভারুয়াল কণাগুলি মিথস্ক্রিয়ায় অবদান রাখে, কোনো "বাস্তব" কণা উপস্থিত না থাকলেও কণাগুলিকে শক্তি অনুভব করতে দেয়। এই ঘটনাটি, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব হিসাবে পরিচিত, ক্ষেত্রগুলি কীভাবে মাইক্রোস্কোপিক স্কেলে কাজ করে তা বোঝার জন্য অপরিহার্য। উদাহরণস্বরূপ, ভারুয়াল ফোটনগুলি চার্জযুক্ত কণাগুলিকে দূরে সরিয়ে একে অপরকে আকর্ষণ করতে বা আকর্ষণ করার অনুমতি দেয়, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক মিথস্ক্রিয়া ব্যাখ্যা করে।

কণাগুলিকে অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রগুলির উত্তেজনা হিসেবে দেখে, স্ট্যান্ডার্ড মডেল মহাবিশ্বের মৌলিক শক্তি এবং কণাগুলি বোঝার জন্য একটি সমন্বিত উপায় সরবরাহ করে। ক্ষেত্রগুলি কণার মিথস্ক্রিয়াকে একীভূত করে, একটি কাঠামো স্থাপন করে যা কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং বিশেষ আপেক্ষিকতাকে একত্রিত করে। স্ট্যান্ডার্ড মডেলে ক্ষেত্রগুলির ভূমিকা শুধুমাত্র বিচ্ছিন্ন কণাগুলি বোঝার জন্য একটি হাতিয়ার নয় বরং এটি এমন একটি ফ্যাব্রিক যা তাদের সংযুক্ত করে এবং তাদের আচরণকে নিয়ন্ত্রণ করে। ক্ষেত্রগুলি, তাদের উত্তেজনা এবং মিথস্ক্রিয়া সহ, মহাবিশ্বের গতিশীলতা তৈরি করে, পারমাণবিক মিথস্ক্রিয়া থেকে মহাজাগতিক কাঠামো পর্যন্ত সবকিছুকে প্রভাবিত করে। যদিও স্ট্যান্ডার্ড মডেলের ফাঁক রয়েছে, বিশেষ করে মাধ্যাকর্ষণ এবং অন্ধকার পদার্থের সাথে, ক্ষেত্রগুলি হল সবচেয়ে ব্যাপক উপায় যা আমরা কণার মিথস্ক্রিয়া এবং ক্ষুদ্রতম স্কেলে পদার্থের আচরণ বুঝতে পারি।

দ্য হিগস ফিল্ড অ্যান্ড মেকানিজম অফ ম্যাস জেনারেশন

হিগস ক্ষেত্রটি কণা পদার্থবিজ্ঞানের স্ট্যান্ডার্ড মডেলের একটি কেন্দ্রীয় ধারণা, যেটি কণাগুলি কীভাবে ভর অর্জন করে তার মূল ভূমিকা পালন করে। পদার্থবিজ্ঞানের একটি গুরুত্বপূর্ণ প্রশ্নের সমাধান করার জন্য কণাকে ভর দেয় এমন একটি ক্ষেত্রের ধারণাটি উদ্ভূত হয়েছিল: কেন কিছু কণা, যেমন ইলেকট্রন বা W এবং Z বোসনের ভর আছে, অন্যদের, ফোটনের মতো, কেন নেই? এই প্রশ্নের উত্তর হিগস ক্ষেত্রে নিহিত, এমন একটি ক্ষেত্র যা সমগ্র মহাবিশ্বকে বিস্তৃত করে। ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিজম বা শক্তিশালী বলের মতো শক্তির সাথে যুক্ত অন্যান্য ক্ষেত্রের বিপরীতে, হিগস ক্ষেত্রের একটি অনন্য বৈশিষ্ট্য রয়েছে - এটি হিগস মেকানিজম নামে একটি প্রক্রিয়ার মাধ্যমে নির্দিষ্ট কণাকে ভর সরবরাহ করে।

হিগস ক্ষেত্রটিকে একটি অদৃশ্য, সর্ব-বিস্তৃত ক্ষেত্র হিসেবে কল্পনা করুন, মহাজাগতিক "গুড়" এর মতো মহাকাশ জুড়ে সমানভাবে ছড়িয়ে পড়েছে। এই ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে চলাচলকারী কণাগুলি প্রতিরোধ বা টেনে আনে, যা আমরা ভর হিসাবে উপলব্ধি করি। হিগস ক্ষেত্রের সাথে একটি কণার মিথস্ক্রিয়ার শক্তি তার ভর নির্ধারণ করে: যে কণাগুলি ক্ষেত্রের সাথে দৃঢ়ভাবে যোগাযোগ করে, যেমন W এবং Z বোসন, উল্লেখযোগ্য ভর অর্জন করে, যখন কণাগুলি ফোটনের মতো দুর্বলভাবে বা একেবারেই যোগাযোগ করে না, তারা

ভরহীন থাকে। তাই হিগস ক্ষেত্রটি একটি সার্বজনীন পটভূমির মতো কাজ করে যা বেছে বেছে কিছু কণাকে "ধীরগতি" করে, ভর তৈরি করে যা এই কণাগুলির একটি মৌলিক বৈশিষ্ট্য।

হিগস ক্ষেত্রটি যে পদ্ধতির দ্বারা কাজ করে তাকে স্বতঃস্ফূর্ত প্রতিসাম্য ব্রেকিং বলা হয়। এটি এমন একটি ধারণা যা বিমূর্ত শোনাতেও কণাগুলি কীভাবে ভর অর্জন করে তার কেন্দ্রবিন্দুতে রয়েছে। সহজ কথায়, মহাবিশ্ব এই ক্ষেত্র দিয়ে পূর্ণ হওয়ার আগে, প্রকৃতির কণা এবং বলগুলি প্রতিসম ছিল; তাদের অনুরূপ বৈশিষ্ট্য ছিল এবং প্রায় অভিন্ন আচরণ করত। কিন্তু মহাবিশ্ব মহাবিস্ফোরণের কিছুক্ষণ পরেই শীতল হওয়ার সাথে সাথে হিগস ক্ষেত্রটি "সক্রিয়" হয়ে যায় এবং এই প্রতিসাম্যকে ভেঙ্গে এমন অবস্থায় স্থির হয়। এই নতুন অবস্থায়, বিভিন্ন কণা ক্ষেত্রটিকে ভিন্নভাবে অনুভব করেছে - কিছু শক্তিশালীভাবে, অন্যগুলি দুর্বলভাবে, এবং কিছু একেবারেই নয় - যা কণাগুলির মধ্যে বিভিন্ন ধরনের ভরের দিকে নিয়ে যায়।

হিগস ক্ষেত্রের সাথে যুক্ত কণা হল হিগস বোসন, ২০১২ সালে CERN এর লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডারে (LHC) আবিষ্কৃত হয়। হিগস বোসন আবিষ্কার সাম্প্রতিক ইতিহাসে সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য বৈজ্ঞানিক সাফল্যগুলির মধ্যে একটি, কারণ এটি হিগস ক্ষেত্রের অস্তিত্ব নিশ্চিত করেছে এবং ভর উৎপাদনের তত্ত্বকে বৈধ করেছে। হিগস বোসন নিজেই হিগস ক্ষেত্রের মধ্যে এক ধরনের উত্তেজনা। যখন হিগস ক্ষেত্রে শক্তি প্রয়োগ করা হয়, তখন এটি একটি লহর বা কম্পন তৈরি করে, যা আমরা হিগস বোসন হিসেবে সনাক্ত করি। এই কণার সনাক্তকরণটি প্রমাণ করার চূড়ান্ত অংশ ছিল যে হিগস ক্ষেত্র বিদ্যমান এবং পূর্বাভাস অনুযায়ী কাজ করে।

গণ-প্রজন্মের প্রক্রিয়াটি চিত্রিত করার একটি উপায় হল সাদৃশ্য দ্বারা: কল্পনা করুন একটি জনাকীর্ণ কক্ষ লোকে ভরা (হিগস ক্ষেত্রের প্রতিনিধিত্ব করে) সমানভাবে দাঁড়িয়ে আছে। যখন একজন সুপরিচিত ব্যক্তি রুম প্রবেশ করে এবং এটি দিয়ে হেঁটে যায়, তখন লোকেরা তাদের চারপাশে জড়ো হয়, তাদের চলাচল ধীর করে দেয়। ব্যক্তির চারপাশে এই ভিড় অনুকরণ করে যে কীভাবে হিগস ক্ষেত্র কণাগুলিকে ধীর করে দেয়, তারা এটির মধ্য দিয়ে যাওয়ার সাথে সাথে তাদের ভর দেয়। হিগস ফিল্ডের সাথে একটি কণার যত বেশি মিথস্ক্রিয়া হয়, এটি তত ভারী (বা আরও বিশাল) হয়ে যায়, ঠিক যেমন ভিড় একজন সাধারণ ব্যক্তির চেয়ে বিখ্যাত ব্যক্তিকে ধীর করে দেবে যে ঘরের মধ্য দিয়ে অপেক্ষাকৃত বাধাহীনভাবে চলাফেরা করতে পারে।

হিগস ক্ষেত্র ছাড়া, মৌলিক কণাগুলি ভরহীন থাকবে, আলোর গতিতে চলমান থাকবে। পরমাণু তৈরি হবে না কারণ ইলেকট্রনের মতো কণা, যা পারমাণবিক নিউক্লিয়াসকে প্রদক্ষিণ করে, ভর থাকবে না এবং প্রোটনের সাথে আবদ্ধ হতে পারবে না। হিগস ক্ষেত্রটি পরমাণু, অণু এবং শেষ পর্যন্ত সমস্ত জটিল পদার্থের অস্তিত্বকে সম্ভব করে তোলে। অতএব, হিগস মেকানিজম শুধুমাত্র কণা পদার্থবিদ্যার জন্যই নয় বরং মহাবিশ্বের গঠনের জন্যই অপরিহার্য।

হিগস ক্ষেত্র সব কণার সাথে সমানভাবে যোগাযোগ করে না। এটি কিছু কণাকে ভর সরবরাহ করে কিন্তু অন্যগুলোকে ছেড়ে দেয়, যেমন ফোটন, অপ্রভাবিত। এই পার্থক্যটি প্রতিটি কণার অন্তর্নিহিত বৈশিষ্ট্য এবং হিগস ক্ষেত্রের সাথে তাদের সম্পর্কের ফলাফল। ফোটন, উদাহরণস্বরূপ, হিগস ক্ষেত্রের সাথে মিথস্ক্রিয়া করে না, তাই এটি ভরহীন থাকে এবং আলোর গতিতে ভ্রমণ করতে পারে, এটি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক মিথস্ক্রিয়া এবং আলোর স্বয়ং সংক্রমণের জন্য গুরুত্বপূর্ণ করে তোলে।

হিগস বোসনের আবিষ্কার এবং অধ্যয়ন পদার্থবিজ্ঞানের অন্যান্য মৌলিক প্রশ্নগুলির অন্বেষণের জন্য নতুন পথ খুলে দেয়। আশা করা যায় যে হিগস ক্ষেত্রের গভীর উপলব্ধি একদিন মহাবিশ্বের উৎপত্তি সম্পর্কে সূত্র দিতে পারে, কেন মাধ্যাকর্ষণ অন্যান্য শক্তির তুলনায় এত দুর্বল এবং এমনকি অন্ধকার পদার্থের প্রকৃতি, পদার্থের একটি রহস্যময় রূপ যা মহাবিশ্বের সাথে যোগাযোগ করে না। হিগস ফিল্ড একইভাবে দৃশ্যমান ব্যাপার করে।

সারমর্মে, হিগস ক্ষেত্র এবং এর ভর তৈরির প্রক্রিয়া প্রকৃতির একটি মৌলিক রহস্যের একটি মার্জিত এবং গভীর উত্তর দেয়। এই অদৃশ্য ক্ষেত্রটি আমাদের চারপাশে যা কিছু দেখি তার গঠনকে আকার দেয়, ক্ষুদ্রতম উপপারমাণবিক কণা থেকে শুরু করে সমগ্র ছায়াপথ পর্যন্ত, কণাকে ভর দিয়ে এবং পদার্থকে এমন একটি আকারে অস্তিত্বের অনুমতি দেয় যা স্থিতিশীল, কাঠামোগত এবং জটিল মহাবিশ্ব গঠনে সক্ষম যা আমরা পর্যবেক্ষণ করি।

অধ্যায় ৯

কসমোলজিতে কোয়ান্টাম ফিল্ডস

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র এবং প্রারম্ভিক মহাবিশ্ব

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি প্রাথমিক মহাবিশ্বকে বোঝার ক্ষেত্রে একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে, বিশেষ করে মহাবিস্ফোরণের পরে মহাবিশ্বের বিবর্তনের প্রেক্ষাপটে। এই ধারণাটি উপলব্ধি করার জন্য, এই ধারণা দিয়ে শুরু করা অপরিহার্য যে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের কাঠামোতে, সমস্ত মৌলিক কণা হল অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রগুলির

উত্তেজনা যা সমগ্র মহাবিশ্বকে ঘিরে রয়েছে। এর মানে হল, কণাকে আলাদা সত্তা হিসেবে ভাবার পরিবর্তে, আমরা তাদের এই ক্ষেত্রগুলির প্রকাশ হিসেবে বুঝতে পারি, যা আদি মহাবিশ্বের উত্তপ্ত, ঘন পরিস্থিতিতেও বিদ্যমান ছিল।

মহাবিস্ফোরণের পরপরই মুহূর্তগুলিতে, মহাবিশ্ব চরম শক্তি এবং তাপমাত্রার অবস্থায় ছিল, যেখানে আমরা জানি যে পদার্থটি এখনও গঠিত হয়নি। এই সময়ের মধ্যে, মৌলিক ক্ষেত্রগুলি - যেমন ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্র, হিগস ক্ষেত্র এবং শক্তিশালী এবং দুর্বল পারমাণবিক শক্তিগুলির সাথে যুক্ত ক্ষেত্রগুলি - সমস্তই একটি বিশৃঙ্খল এবং অত্যন্ত শক্তিশালী অবস্থায় ছিল। এই পরিবেশটি কণা এবং কাঠামো গঠনের মঞ্চ তৈরি করে যা শেষ পর্যন্ত ছায়াপথ, তারা এবং গ্রহের দিকে নিয়ে যায়।

প্রারম্ভিক মহাবিশ্বের কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির একটি মূল দিক হল ভ্যাকুয়াম ওঠানামার ধারণা। এমনকি আমরা যাকে একটি "শূন্যতা" হিসেবে বিবেচনা করি, যেখানে কোন কণা উপস্থিত নেই, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি কোয়ান্টাম মেকানিক্সের অনিশ্চয়তার নীতির কারণে ওঠানামা করতে পারে। এই অস্থিরতাগুলি ভার্চুয়াল কণাগুলির অস্থায়ী সৃষ্টির দিকে নিয়ে যায় যা অস্তিত্বের ভিতরে এবং বাইরে চলে যায়। প্রারম্ভিক মহাবিশ্বের উচ্চ-শক্তির পরিস্থিতিতে, এই ভ্যাকুয়াম ওঠানামার উল্লেখযোগ্য প্রভাব ছিল। তারা শক্তি এবং পদার্থের অভিন্ন বন্টনে অবদান রেখেছিল এবং তারা পরবর্তীতে ঘটবে এমন কাঠামো গঠনের জন্য বীজ সরবরাহ করেছিল।

মহাবিশ্ব প্রসারিত এবং শীতল হওয়ার সাথে সাথে এটি প্রতিসাম্য ভাস্পা নামক একটি প্রক্রিয়ার মধ্য দিয়ে গেছে। এখানেই বিভিন্ন মৌলিক বল এবং কণাগুলি একে অপরের থেকে আলাদা হতে শুরু করে, যা আমরা আজ পর্যবেক্ষণ করি সেই স্বতন্ত্র শক্তি এবং কণাগুলির জন্ম দেয়। উদাহরণস্বরূপ, হিগস ক্ষেত্রটি একটি শূন্য মানের সাথে একটি শূন্য অবস্থায় স্থির হওয়ার সাথে সাথে এটি কণার সাথে মিথস্ক্রিয়া করে, হিগস প্রক্রিয়ার মাধ্যমে তাদের ভর প্রদান করে। আমরা আজ মহাবিশ্বে যে বিষয়টিকে চিনি তা গঠনের জন্য এই প্রক্রিয়াটি অপরিহার্য ছিল।

খুব প্রারম্ভিক মুহূর্তগুলিতে, মহাবিশ্ব একটি দ্রুত স্ফীতিমূলক পর্যায়ের অভিজ্ঞতা লাভ করেছিল, একটি ত্বর বৃহৎ স্কেলে মহাবিশ্বের অভিন্নতা ব্যাখ্যা করার প্রস্তাব করেছিল। মুদ্রাস্ফীতি ধারণা করে যে মহাবিশ্ব একটি সূচকীয় সম্প্রসারণের মধ্য দিয়ে গেছে, একটি স্কেলার ক্ষেত্র দ্বারা চালিত, সম্ভবত হিগস ক্ষেত্র বা অনুরূপ ইনফ্ল্যাটন ক্ষেত্রের সাথে সম্পর্কিত। এই সম্প্রসারণ অনিয়মকে মসৃণ করে এবং ছোট কোয়ান্টাম ওঠানামাকে বিশাল দূরত্ব জুড়ে প্রসারিত করার অনুমতি দেয়। যেহেতু মহাবিশ্ব প্রসারিত এবং শীতল হতে থাকে, এই ওঠানামাগুলি বড় আকারের কাঠামোর বীজ হয়ে ওঠে, যেমন গ্যালাক্সি এবং গ্যালাক্সির ক্লাস্টার, যা পরে গঠিত হয়েছিল।

এই কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির মিথস্ক্রিয়াও জোড়া উত্পাদনের মতো প্রক্রিয়াগুলির মাধ্যমে বিভিন্ন কণা তৈরির দিকে পরিচালিত করেছিল, যেখানে ক্ষেত্রগুলি থেকে শক্তি কণা-অ্যান্টি পার্টিকেল জোড়ায় রূপান্তরিত হয়েছিল। মহাবিশ্ব শীতল হওয়ার সাথে সাথে এই কণা সৃষ্টি চলতে থাকে, যার ফলে কোয়ার্ক, লেপটন এবং গেজ বোসন সহ কণার সমৃদ্ধ টেপেস্ট্রি তৈরি হয়। অবশেষে, মহাবিশ্ব আরও শীতল হওয়ার সাথে সাথে, কোয়ার্কগুলি প্রোটন এবং নিউট্রন তৈরি করতে একত্রিত হয় এবং এই ব্যারিয়নগুলি পরবর্তীতে নিউক্লিওসিন্থেসিস নামক একটি প্রক্রিয়ার সময় পারমাণবিক নিউক্লিয়াস গঠনে একত্রিত হয়।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র এবং মৌলিক শক্তিগুলির আন্তঃক্রিয়াও মহাবিশ্বের তাপমাত্রা এবং ঘনত্বের বিবর্তনকে প্রভাবিত করেছে। কণাগুলি যোগাযোগ এবং শক্তি বিনিময় করার সাথে সাথে, তারা একটি গতিশীল ভারসাম্য প্রতিষ্ঠা করেছিল যা প্রাথমিক মহাবিশ্বের তাপীয় ইতিহাসকে নিয়ন্ত্রণ করেছিল। এই ভারসাম্যটি মহাজাগতিক মাইক্রোওয়েভ পটভূমি বিকিরণ বোঝার জন্য অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ, প্রাথমিক মহাবিশ্বের অবশিষ্ট তাপ যা আমরা আজও পর্যবেক্ষণ করি। এই বিকিরণের অভিন্নতা এবং সামান্য অ্যানিসোট্রপিগুলি

মহাবিশ্বের একটি স্ল্যাপশট প্রদান করে যখন এটি প্রায় ৩৮০,০০০ বছর বয়সী ছিল, যা পরমাণু গঠনের আগে কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলিতে বিরাজমান অবস্থা সম্পর্কে সূত্র প্রকাশ করে।

সংক্ষেপে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি প্রাথমিক মহাবিশ্ব সম্পর্কে আমাদের বোঝার ভিত্তি, জটিল মিথস্ক্রিয়া এবং ঘটনাগুলিকে অন্তর্ভুক্ত করে যা মহাবিশ্বকে তার সূচনা থেকে আকার দিয়েছে। এই ক্ষেত্রগুলির গতিশীলতা, তাদের ভ্যাকুয়াম ওঠানামা এবং প্রতিসাম্য ভাঙ্গা এবং কণা সৃষ্টিতে তাদের ভূমিকা মহাবিশ্বের গঠন এবং বিবর্তনে অবদান রাখে। এই ক্ষেত্রগুলির আন্তঃক্রিয়া কণা এবং শক্তির সমৃদ্ধ বৈচিত্র্যের জন্য মঞ্চ তৈরি করে যা আমরা আজ পর্যবেক্ষণ করি, গ্যালাক্সি, তারা এবং শেষ পর্যন্ত জীবন গঠনের পথ প্রশস্ত করে। কসমোলজিতে কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির অধ্যয়ন কেবল মহাবিশ্বের সূচনা সম্পর্কে আমাদের বোধগম্যতাকে গভীর করে না বরং বাস্তবতার প্রকৃতি এবং অস্তিত্বের অন্তর্নিহিত ফ্যাব্রিক সম্পর্কেও গভীর প্রশ্ন উত্থাপন করে।

মুদ্রাস্ফীতি তত্ত্ব এবং কোয়ান্টাম ওঠানামা

মুদ্রাস্ফীতি তত্ত্ব হল কসমোলজিতে একটি যুগান্তকারী ধারণা যা প্রাথমিক মহাবিশ্ব সম্পর্কে বিভিন্ন রহস্যের সমাধান করে, বিশেষ করে কীভাবে এটি এত বিশাল, অভিন্ন এবং কাঠামোগত হয়েছিল। 1980-এর দশকের গোড়ার দিকে পদার্থবিজ্ঞানী অ্যালান গুথ দ্বারা প্রস্তাবিত, মুদ্রাস্ফীতির তত্ত্বটি প্রস্তাব করে যে বিগ ব্যাং-এর পর এক সেকেন্ডের প্রথম ক্ষুদ্র ভগ্নাংশে, মহাবিশ্ব একটি অকল্পনীয়ভাবে দ্রুত সম্প্রসারণের মধ্য দিয়েছিল, আলোর গতির চেয়ে দ্রুত স্ফীত হয়। এই সংক্ষিপ্ত সময়ের মধ্যে - সম্পর্কে

১০^{-৩৬}-থেকে ১০^{-৩২} সেকেন্ড - মহাবিশ্ব দ্রুতগতিতে প্রসারিত হয়েছে, একটি উপ-পরমাণু স্কেল থেকে প্রায় ম্যাক্রোস্কোপিক অনুপাতে বেড়েছে। এই আকস্মিক সম্প্রসারণ আজ আমরা যে মহাবিশ্ব পর্যবেক্ষণ করি তার ভিত্তি স্থাপন করে, ব্যাখ্যা করে যে কেন এটি বৃহৎ স্কেলে এত অভিন্ন দেখায় এবং কেন গ্যালাক্সি এবং অন্যান্য মহাজাগতিক কাঠামো বিদ্যমান।

স্ফীতির প্রয়োজনীয়তা সৃষ্টি হয় সৃষ্টিতত্ত্বের কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ প্রশ্ন থেকে। প্রথমত, "দিগন্ত সমস্যা" আছে: যখন আমরা মহাজাগতিক মাইক্রোওয়েভ ব্যাকগ্রাউন্ড (CMB) বিকিরণ দেখি, তখন আমরা মহাকাশের বিস্তীর্ণ অঞ্চল জুড়ে একটি অসাধারণ অভিন্ন তাপমাত্রা দেখতে পাই। যাইহোক, স্ফীতি ছাড়া, এই অঞ্চলগুলি কখনই প্রারম্ভিক মহাবিশ্বে একে অপরের সাথে যোগাযোগ করতে পারত না কারণ মহাবিশ্ব খুব দ্রুত প্রসারিত হচ্ছিল সংকেতগুলির (যেমন তাপ বা আলো) তাদের মধ্যে ভ্রমণ করার জন্য এবং তাপমাত্রা সমান করার জন্য। মুদ্রাস্ফীতি এই পরামর্শ দিয়ে সমাধান করে যে, এই আকস্মিক সম্প্রসারণের আগে, মহাবিশ্বটি সমস্ত অঞ্চলের সংস্পর্শে থাকার জন্য যথেষ্ট ছোট ছিল, যা তাদের তাপীয় ভারসাম্যে পৌঁছানোর অনুমতি দেয়। যখন মুদ্রাস্ফীতি ঘটে, তখন এটি এই অভিন্ন অবস্থাকে বিশাল আকারে প্রসারিত করেছিল।

মুদ্রাস্ফীতির আরেকটি সমস্যা হল "সমতলতা সমস্যা।" পর্যবেক্ষণগুলি দেখায় যে মহাবিশ্ব জ্যামিতিকভাবে বড় স্কেলে সমতল দেখায়, যার অর্থ এর স্থানিক বক্রতা শূন্যের কাছাকাছি। এটি স্বাভাবিকভাবে ঘটার জন্য, মহাবিশ্বের প্রাথমিক অবস্থাগুলি অবিশ্বাস্যভাবে সুনির্দিষ্ট হতে হবে। মুদ্রাস্ফীতি যেকোনো প্রাথমিক বক্রতাকে সমতল করে, যেমন একটি চূর্ণবিচূর্ণ কাগজের টুকরো টানানো যতক্ষণ না এটি মসৃণ এবং সমতল দেখায়, এইভাবে এই অসম্ভাব্য অবস্থার প্রয়োজন ছাড়াই পর্যবেক্ষণ করা সমতলতা ব্যাখ্যা করে।

কোয়ান্টাম ওঠানামা মুদ্রাস্ফীতির মডেলে একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে, যা আমরা আজ মহাবিশ্বে দেখতে পাই এমন সমস্ত কাঠামোর বীজ হিসেবে কাজ করে। কোয়ান্টাম মেকানিক্সে, অনিশ্চয়তার ধারণার অর্থ হল যেটি ফাঁকা স্থান বলে মনে হচ্ছে, হাইজেনবার্গ অনিশ্চয়তার নীতির কারণে ক্ষেত্রগুলি ওঠানামা করে। এই ওঠানামাগুলি সাধারণত ক্ষুদ্র এবং স্বল্পস্থায়ী হয়, কিন্তু মুদ্রাস্ফীতির সময়, মহাবিশ্ব দ্রুত

সম্প্রসারিত হওয়ার কারণে এগুলি ম্যাক্রোস্কোপিক স্কেলে প্রসারিত হয়। স্থান-কালের ফ্যারিকের এই প্রশস্ত ওঠানামাগুলি গ্যালাক্সি, তারা এবং গ্যালাক্সির ক্লাস্টারগুলির নীলনকশা হয়ে উঠেছে।

মুদ্রাস্ফীতি মহাবিশ্বকে প্রসারিত করার সাথে সাথে এটি এর মধ্যে কোয়ান্টাম ওঠানামাকেও বড় করেছে। ঘনত্বের ছোট পার্থক্য যা প্রাথমিকভাবে আকারে মাইক্রোস্কোপিক ছিল তা মহাজাগতিক স্কেলগুলিতে প্রসারিত হয়েছিল। একবার মুদ্রাস্ফীতি শেষ হয়ে গেলে এবং মহাবিশ্ব একটি ধীর, আরও ধীরে ধীরে সম্প্রসারণ শুরু করলে, এই ঘনত্বের বৈচিত্র্যগুলি এমন অঞ্চলগুলি সরবরাহ করে যেখানে পদার্থগুলি মহাকর্ষের অধীনে একত্রিত হতে শুরু করতে পারে। বিলিয়ন বছর ধরে, এই ক্লাস্পিং তারা, গ্যালাক্সি এবং মহাজাগতিক ওয়েব কাঠামোর গঠনের দিকে পরিচালিত করে যা তাদের সংযুক্ত করে। মোটকথা, কোয়ান্টাম ওঠানামা একটি অন্যথায় মসৃণ মহাবিশ্বের প্রাথমিক "অসম্পূর্ণতা" হিসাবে কাজ করেছিল, যা, মহাকর্ষের প্রভাবে, আমরা আজ যে বিশাল কাঠামো দেখতে পাচ্ছি তাতে বৃদ্ধি পেয়েছে।

মুদ্রাস্ফীতির জন্য দায়ী নির্দিষ্ট কোয়ান্টাম ক্ষেত্রটি "ইনফ্ল্যাটন" ক্ষেত্র হিসেবে পরিচিত, যা এই দ্রুত সম্প্রসারণকে চালিত করে এমন একটি উচ্চ-শক্তির অবস্থা ছিল বলে তাত্ত্বিকভাবে বলা হয়। মুদ্রাস্ফীতির সময়, ইনফ্ল্যাটন ক্ষেত্রটি মূলত উত্তেজিত অবস্থায় ছিল, স্থানকে প্রসারিত করতে ঠেলে দেয়। যখন ক্ষেত্রটি শেষ পর্যন্ত ক্ষয়প্রাপ্ত হয়, তখন এটি প্রচুর পরিমাণে শক্তি নির্গত করে, মহাবিশ্বকে উত্তপ্ত করে এবং এটি কণা দিয়ে পূর্ণ করে - একটি প্রক্রিয়া যা "পুনরায় গরম করা" নামে পরিচিত। এই রূপান্তরটি মুদ্রাস্ফীতির সমাপ্তি এবং গরম বিগ ব্যাং পর্বের সূচনাকে চিহ্নিত করে, যেখানে কণা, আলো এবং প্রকৃতির পরিচিত শক্তিগুলি রূপ নিতে শুরু করে এবং মহাবিশ্ব তার আরও ধীরে ধীরে সম্প্রসারণ অব্যাহত রাখে।

মুদ্রাস্ফীতি তত্ত্বের একটি উল্লেখযোগ্য সাফল্য হল যে এটি মহাজাগতিক মাইক্রোওয়েভ ব্যাকগ্রাউন্ড (সিএমবি) বিকিরণ, বিগ ব্যাং-এর আফটারগ্লো এর বৈশিষ্ট্য সম্পর্কে সুনির্দিষ্ট ভবিষ্যদ্বাণী করে। সিএমবি মহাবিশ্বের একটি "স্ল্যাপশট" প্রদান করে যখন এটি প্রায় ৩৮০,০০০ বছর বয়সী ছিল। আমরা সিএমবি-তে যে প্যাটার্নগুলি দেখি, বিশেষত সামান্য তাপমাত্রার ওঠানামা, সেই আদিম কোয়ান্টাম ওঠানামাগুলির সাথে মিলে যায় যা মুদ্রাস্ফীতি দ্বারা প্রসারিত এবং "ছাপিত" হয়। এই নিদর্শনগুলি মুদ্রাস্ফীতি তত্ত্বের ভবিষ্যদ্বাণীগুলির সাথে উল্লেখযোগ্যভাবে একমত, শক্তিশালী প্রমাণ প্রদান করে যে মুদ্রাস্ফীতি সত্যিই ঘটেছে।

ডার্ক ম্যাটার এবং ডার্ক এনার্জি: কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব?

ডার্ক ম্যাটার এবং ডার্ক এনার্জি হল মহাবিশ্বের সবচেয়ে রহস্যময় এবং মৌলিক উপাদানগুলির মধ্যে দুটি, একসাথে এর মোট শক্তি ঘনত্বের প্রায় ৯৫% তৈরি করে, তবুও তাদের প্রকৃত প্রকৃতি অধরা থেকে যায়। যদিও ডার্ক ম্যাটার এবং ডার্ক এনার্জি উভয়ই পরোক্ষভাবে মহাজাগতিক গঠন এবং সম্প্রসারণের উপর তাদের প্রভাবের মাধ্যমে পরিলক্ষিত হয়, তাদের ভূমিকা এবং উৎস গভীরভাবে ভিন্ন। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব, যা কণাকে অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রগুলির উত্তেজনা হিসেবে বর্ণনা করে, অন্ধকার পদার্থ এবং অন্ধকার শক্তি কী হতে পারে তা ব্যাখ্যা করার প্রচেষ্টার অগ্রভাগে রয়েছে, যদিও এখনও পর্যন্ত, তারা তাত্ত্বিক চ্যালেঞ্জ রয়ে গেছে।

ডার্ক ম্যাটার মহাবিশ্বের ভর-শক্তি সামগ্রীর প্রায় ২৭% জন্য দায়ী বলে মনে করা হয়। সাধারণ পদার্থের বিপরীতে, অন্ধকার পদার্থ আলোকে নির্গত করে না, শোষণ করে না বা প্রতিফলিত করে না, এটি কেবল দৃশ্যমান পদার্থের উপর তার মহাকর্ষীয় প্রভাবের মাধ্যমে অদৃশ্য এবং সনাক্তযোগ্য করে তোলে। পর্যবেক্ষণগুলি দেখায় যে গ্যালাক্সিগুলি শুধুমাত্র দৃশ্যমান বস্তুর উপর ভিত্তি করে প্রত্যাশিত তুলনায় অনেক দ্রুত ঘোরে এবং গ্যালাক্সি ক্লাস্টারগুলি এমনভাবে একত্রিত হয় যা বোঝায় যে আমরা দেখতে পাচ্ছি তার থেকে অনেক বেশি ভর রয়েছে। ডার্ক ম্যাটার অন্যান্য ধরনের পদার্থের মতোই কণা দ্বারা গঠিত হতে পারে, কিন্তু যেগুলি ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ডের সাথে মিথস্ক্রিয়া করে না, তাই সরাসরি সনাক্তকরণ এড়িয়ে যায়। কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি ডার্ক ম্যাটার কণার জন্য বেশ কিছু প্রার্থীর প্রস্তাব করে, যেমন উইকলি

ইন্টারঅ্যাক্টিং ম্যাসিভ পার্টিকেলস (ডব্লিউআইএমপি), অ্যান্ট্রিনস এবং জীবাণুমুক্ত নিউট্রিনো। এই কাল্পনিক কণাগুলির প্রত্যেকটি সম্ভাব্য ক্ষেত্র থেকে উদ্ভূত হয়, অনেকটা হিগস ক্ষেত্র যেমন হিগস বোসনের জন্ম দেয়, তবে তাদের নিশ্চিত করার জন্য এখনও কোন চূড়ান্ত প্রমাণ পাওয়া যায়নি।

অন্ধকার শক্তি, যা মহাবিশ্বের প্রায় ৬৮% তৈরি করে, এমনকি অপরিচিত। ডার্ক ম্যাটারের বিপরীতে, যা গ্র্যাভিটেশনাল টানকে জড়ো করে এবং প্রয়োগ করে, অন্ধকার শক্তি একটি বিকর্ষণকারী শক্তি হিসাবে কাজ করে, যা মহাবিশ্বের হ্রাসপ্রাপ্ত প্রসারণকে চালিত করে। যেন একটি অজানা শক্তি স্থান-কালের বুননে বোনা হয়েছে, ক্রমবর্ধমান গতিতে ছায়াপথগুলিকে একে অপরের থেকে দূরে ঠেলে দিচ্ছে। সবচেয়ে সাধারণ ব্যাখ্যাটি অন্ধকার শক্তিকে "মহাজাগতিক ধ্রুবক" এর সাথে যুক্ত করে, আইনস্টাইনের সাধারণ আপেক্ষিকতার সমীকরণের একটি শব্দ যা একটি অভিন্ন শক্তির ঘনত্ব পূরণকারী স্থানকে প্রতিনিধিত্ব করে। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের পরিপ্রেক্ষিতে, এই ধ্রুবকটি স্থানের "ভ্যাকুয়াম শক্তি" থেকে উদ্ভূত হতে পারে, যা কোয়ান্টাম ওঠানামার শক্তির ফলে। যাইহোক, ভ্যাকুয়াম শক্তির তাত্ত্বিক গণনাগুলি আমরা যা পর্যবেক্ষণ করি তার চেয়ে অনেক বেশি, বোঝার ক্ষেত্রে একটি বড় ফাঁক রেখে যায়।

কিছু বিজ্ঞানী অনুমান করেন যে ডার্ক এনার্জি একটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্রের ফলাফল হতে পারে, যেমন ইনফ্ল্যাটন ক্ষেত্র মুদ্রাস্ফীতির সময় দ্রুত সম্প্রসারণকে চালিত করতে পারে। এই কাল্পনিক "অন্ধকার শক্তি ক্ষেত্র" মহাকাশ জুড়ে সমানভাবে ছড়িয়ে পড়বে, ধীরে ধীরে শক্তির ঘনত্ব বজায় রাখতে বিকশিত হবে যা মহাজাগতিক প্রসারণকে শক্তি দেয়। ডার্ক ম্যাটার কণার বিপরীতে, যা আমরা কণা পদার্থবিদ্যার পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে সনাক্ত করতে পারি, একটি অন্ধকার শক্তি ক্ষেত্রটি অনেক সূক্ষ্ম এবং সরাসরি পর্যবেক্ষণ করা কঠিন হবে, এটি একটি কোয়ান্টাম ঘটনা হিসেবে আরও অধরা হয়ে উঠবে।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বগুলি একটি কাঠামো প্রদান করে যা অন্ধকার পদার্থ এবং অন্ধকার শক্তি উভয়ই বর্ণনা করার চেষ্টা করে, যদিও কণা পদার্থবিদ্যার মানক মডেল বর্তমানে উভয়ের জন্যই দায়ী নয়। ডার্ক ম্যাটারকে স্ট্যান্ডার্ড মডেলের এক্সটেনশনের মাধ্যমে বোঝা যেতে পারে, অনুমানমূলক ক্ষেত্র যোগ করে যা এই অদেখা কণা তৈরি করতে পারে। লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডার (এলএইচসি) এবং ভবিষ্যতের কণা সংঘর্ষের মতো পরীক্ষাগুলি এই কণাগুলির লক্ষণগুলি আবিষ্কার করার লক্ষ্য রাখে, যা অন্ধকার পদার্থের প্রকৃতির উপর আলোকপাত করতে পারে।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বগুলি ব্যাখ্যা করতেও ভূমিকা রাখতে পারে যে কেন অন্ধকার শক্তির মাত্রা রয়েছে - একটি প্রশ্ন যা "মহাজাগতিক ধ্রুবক সমস্যা" নামে পরিচিত। কোয়ান্টাম মেকানিক্স পরামর্শ দেয় যে ভ্যাকুয়াম ওঠানামা খালি জায়গায় একটি শক্তির অবদান রাখতে হবে, কিন্তু এই ভ্যাকুয়াম শক্তির হিসাব প্রায়ই

১০^{১২০}

অন্ধকার শক্তির পর্যবেক্ষিত মানের চেয়ে বহুগুণ বড়। এই বিশাল অসঙ্গতি পরামর্শ দেয় যে আমরা মহাজাগতিক স্কেলে মহাকর্ষের সাথে কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্ব কীভাবে ইন্টারঅ্যাক্ট করে তার মধ্যে মৌলিক কিছু মিস করছি। কিছু গবেষক মনে করেন একটি গভীর তত্ত্ব, সম্ভবত কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং সাধারণ আপেক্ষিকতাকে একীভূত করে, অবশেষে অন্ধকার শক্তির প্রকৃত প্রকৃতি ব্যাখ্যা করতে পারে।

অন্ধকার পদার্থ এবং অন্ধকার শক্তি বোঝার জন্য অনুসন্ধান কেবল কণা বা ক্ষেত্র যোগ করার বাইরে যায়। এটি পদার্থবিজ্ঞানের সীমানাকে চ্যালেঞ্জ করে, পরামর্শ দেয় যে কর্মক্ষেত্রে অজানা নীতি থাকতে পারে যা

কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলিকে স্থান-কালের বিশাল কাঠামোর সাথে সংযুক্ত করে। সুপারসিমেট্রি এবং স্ট্রিং তত্ত্বের মত ধারণাগুলি কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বের সম্ভাব্য এক্সটেনশন প্রদান করে, এমন প্রক্রিয়া প্রদান করে যা অন্ধকার পদার্থ এবং অন্ধকার শক্তি উভয়কেই একটি গভীর, একীভূত কাঠামোর উপজাত হিসাবে ব্যাখ্যা করতে পারে। যদিও এই ধারণাগুলি মূলত অনুমানমূলক, তারা হাইলাইট করে যে কীভাবে ডার্ক ম্যাটার এবং ডার্ক এনার্জি বোঝার জন্য আমাদের পদার্থবিজ্ঞানের বোঝার ক্ষেত্রে একটি বৈপ্লবিক পরিবর্তনের প্রয়োজন হতে পারে।

সংক্ষেপে, যদিও ডার্ক ম্যাটার এবং ডার্ক এনার্জি এখনও বর্তমান কোয়ান্টাম ফিল্ড তত্ত্বগুলির মধ্যে একটি উত্তর খুঁজে পায়নি, ক্ষেত্রটি এই ঘটনাগুলিকে আরও অন্বেষণ করার জন্য সরঞ্জাম এবং কাঠামো সরবরাহ করে। কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্ব আমাদের কিছু সম্ভাব্য ডার্ক ম্যাটার প্রার্থীদের দিকে নিয়ে গেছে, পাশাপাশি ভ্যাকুয়াম শক্তি এবং অন্ধকার শক্তির সাথে এর সম্পর্ক সম্পর্কে প্রশ্ন উত্থাপন করেছে। তাত্ত্বিক পদার্থবিদরা মহাবিশ্বের অদেখা সংখ্যাগরিষ্ঠের অন্তর্দৃষ্টি প্রদানের জন্য কোয়ান্টাম ক্ষেত্র তত্ত্বের সীমানাকে ধাক্কা দিয়ে চলেছেন। নতুন কণা, ক্ষেত্র বা সম্পূর্ণ নতুন নীতির মাধ্যমে হোক না কেন, অন্ধকার পদার্থ এবং অন্ধকার শক্তির চলমান অন্বেষণ আমাদের সময়ের সবচেয়ে গভীর বৈজ্ঞানিক অনুসন্ধানগুলির মধ্যে একটি, যা মহাবিশ্ব এবং বাস্তবতার প্রকৃতি সম্পর্কে আমাদের বোঝার প্রসারিত করার প্রতিশ্রুতি দেয়।

কোয়ান্টাম ফিল্ডস এবং মাল্টিভার্স হাইপোথিসিস

কোয়ান্টাম ফিল্ডের ধারণা এবং মাল্টিভার্স হাইপোথিসিস কোয়ান্টাম ফিজিক্সের ভিত্তি এবং কসমোলজির কিছু সবচেয়ে অনুমানমূলক ধারণা উভয়ের মধ্যেই একটি আকর্ষণীয় চেহারা প্রদান করে। কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি (কিউএফটি) হল এমন একটি কাঠামো যা কণাগুলিকে অন্তর্নিহিত ক্ষেত্রগুলির প্রকাশ হিসাবে বর্ণনা করে যা সমস্ত স্থান জুড়ে রয়েছে। এই দৃষ্টিতে, প্রতিটি কণা কেবলমাত্র একটি নির্দিষ্ট ক্ষেত্রের একটি পরিমাপযুক্ত "উত্তেজনা" বা লহর। উদাহরণস্বরূপ, ইলেকট্রনগুলি ইলেকট্রন ক্ষেত্রে বিদ্রলিত হয় এবং ফোটনগুলি, যা আলো বহন করে, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ক্ষেত্রে উত্তেজনা হয়। এই ক্ষেত্রগুলি সর্বব্যাপী এবং, এক অর্থে, তারা "পটভূমি" বাস্তবতা গঠন করে যা থেকে মহাবিশ্বের বস্তু এবং শক্তি উদ্ভূত হয়।

মাল্টিভার্স হাইপোথিসিস পরামর্শ দেয় যে আমাদের পর্যবেক্ষণযোগ্য মহাবিশ্ব অনেকগুলি মহাবিশ্বের মধ্যে একটি হতে পারে-সম্ভাব্যভাবে একটি অসীম সংখ্যা-প্রত্যেকটির নিজস্ব স্বতন্ত্র ভৌত নিয়ম, ধ্রুবক এবং এমনকি মৌলিক কণা রয়েছে। কোন তত্ত্ব বিবেচনা করে তার উপর নির্ভর করে মাল্টিভার্সের বিভিন্ন ব্যাখ্যা এবং প্রকার রয়েছে। কিছু মাল্টিভার্স তত্ত্ব সৃষ্টি হয় কসমোলজি এবং স্ফীতি থেকে, অন্যগুলো আসে কোয়ান্টাম মেকানিক্স বা এমনকি স্ট্রিং তত্ত্বের ব্যাখ্যা থেকে। এই প্রসঙ্গে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি একটি কেন্দ্রীয় ভূমিকা পালন করতে পারে, কারণ তারা কেবল আমাদের পর্যবেক্ষণযোগ্য মহাবিশ্বের মধ্যে সীমাবদ্ধ নাও হতে পারে তবে বহুবিশ্বের অন্যান্য মহাবিশ্বের মধ্যে প্রসারিত বা এমনকি ভিত্তি তৈরি করতে পারে।

তাত্ত্বিক পদার্থবিদ্যায় মাল্টিভার্সের উদ্ভবের একটি উপায় হল আদি মহাবিশ্বের স্ফীতিমূলক মডেলের মাধ্যমে। মুদ্রাস্ফীতি তত্ত্ব অনুসারে, আমাদের মহাবিশ্ব বিগ ব্যাং-এর ঠিক পরেই একটি অত্যন্ত দ্রুত সম্প্রসারণের মধ্য দিয়েছিল, যা মনে-বাঁকানো হারে স্থানকে ছড়িয়ে দিয়েছে। মুদ্রাস্ফীতির কিছু মডেল পরামর্শ দেয় যে এই প্রক্রিয়াটি একটি অসীম এবং ক্রমাগত স্ফীত মহাবিশ্বের মধ্যে "পকেট ইউনিভার্স" বা "বাবল ইউনিভার্স" তৈরি করতে পারে। প্রতিটি বুদবুদের মধ্যে কোয়ান্টাম ক্ষেত্রের তারতম্যের কারণে এই বুদবুদগুলির প্রতিটি তার নিজস্ব মহাবিশ্ব গঠন করতে পারে, সম্ভাব্য বিভিন্ন ভৌত আইন সহ। যদি এটি সত্য হয়, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি প্রতিটি মহাবিশ্বের বিভিন্ন কণা, বল এবং এমনকি মাত্রাগুলির ভিত্তি প্রদান করতে পারে। এইভাবে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি যখন আমাদের মহাবিশ্বের কণা এবং বলগুলিকে আকৃতি দেয়, তারা মাল্টিভার্সের প্রতিটি "বুদবুদ" এ ভিন্নভাবে করতে পারে, যা অনন্য বৈশিষ্ট্য সহ বিভিন্ন মহাবিশ্বের জন্ম দেয়।

কোয়ান্টাম মেকানিক্সের ক্ষেত্রে, "অনেক-জগতের ব্যাখ্যা" এক ধরনের মাল্টিভার্সেরও পরামর্শ দেয়। এই ব্যাখ্যাটি প্রমাণ করে যে একাধিক সম্ভাব্য ফলাফল সহ প্রতিটি কোয়ান্টাম ইভেন্ট মহাবিশ্বকে পৃথক বাস্তবতায় "শাখা" সৃষ্টি করে। উদাহরণস্বরূপ, যখন একটি কোয়ান্টাম কণার বাম বা ডান দিকে যাওয়ার সুযোগ থাকে, উভয় সম্ভাবনাই ঘটে - প্রতিটি "শাখা" মহাবিশ্বে একটি। এই দৃষ্টিকোণ থেকে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি হল মৌলিক ক্যাব্রিক যা প্রতিটি মহাবিশ্বের কোয়ান্টাম কণা এবং শক্তিকে অন্তর্নিহিত করে, এই ক্ষেত্রগুলি মাল্টিভার্সের সমস্ত শাখা জুড়ে বিস্তৃত, সম্ভবত একাধিক "জগত" জুড়ে বাস্তবতার ভিত্তি তৈরি করে।

স্ট্রিং থিওরির মতো তাত্ত্বিক কাঠামো আরও একীভূত চিত্রের প্রস্তাব করে, যা প্রস্তাব করে যে মৌলিক বস্তুগুলি বিন্দু-সদৃশ কণা নয় বরং ক্ষুদ্র স্পন্দিত স্ট্রিং। প্রতিটি কম্পন প্যাটার্ন একটি ভিন্ন কণার সাথে মিলে যায়, এবং এই স্ট্রিংগুলি একটি কাঠামোর মধ্যে বিদ্যমান যা একাধিক মাত্রা এবং সম্ভাব্য একাধিক মহাবিশ্বকে সমর্থন করতে পারে। স্ট্রিং তত্ত্বের কিছু সংস্করণে, উচ্চ-মাত্রিক স্থানের কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির বিভিন্ন কনফিগারেশন সম্পূর্ণরূপে পৃথক মহাবিশ্বের জন্ম দিতে পারে, প্রতিটি তার অনন্য বৈশিষ্ট্য সহ।

কোয়ান্টাম ক্ষেত্র এবং মাল্টিভার্স হাইপোথিসিসের মধ্যে সম্ভাব্য সংযোগও গভীর দার্শনিক প্রশ্ন উত্থাপন করে। যদি একাধিক মহাবিশ্ব বিদ্যমান থাকে, প্রত্যেকটির নিজস্ব ভৌত ধ্রুবক এবং আইন রয়েছে, তবে এটি "সূক্ষ্ম-সুরকরণ" সমস্যার একটি সম্ভাব্য উত্তর দিতে পারে- কেন আমাদের মহাবিশ্বের শারীরিক ধ্রুবকগুলি জীবনকে সমর্থন করার জন্য যথাযথভাবে উপযুক্ত। অগণিত মহাবিশ্বে ভরা মাল্টিভার্সে, প্রতিটি কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির বিভিন্ন কনফিগারেশনের একটি পণ্য, এটি সম্ভব যে আমরা এমন একটি বিরল মহাবিশ্বে বাস করতে পারি যেখানে জীবনের অস্তিত্বের জন্য পরিস্থিতি সঠিক।

আরও অনুমানমূলক নোটে, কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি এমনকি কিছু মাল্টিভার্স তত্ত্ব মহাবিশ্বের মধ্যে সেতু হিসাবে কাজ করতে পারে। যদি কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলি মৌলিক এবং সর্বজনীন হয়, পৃথক মহাবিশ্বের বাইরে প্রসারিত হয়, তবে এটি মাল্টিভার্সে বিভিন্ন "মহাবিশ্বের" মধ্যে সংযোগ বা মিথস্ক্রিয়া হওয়ার সম্ভাবনা বাড়ায়। যদিও বিশুদ্ধভাবে তাত্ত্বিক, এই ধারণাটি শেয়ার করা ক্ষেত্রগুলির মাধ্যমে অন্যান্য মহাবিশ্বকে সনাক্ত করা বা এমনকি তাদের সাথে যোগাযোগ করা সম্ভব কিনা সে সম্পর্কে ধারণার জন্ম দেয়, যদিও এই ধরনের মিথস্ক্রিয়াগুলি সূক্ষ্ম হবে এবং অন্তত আপাতত, বর্তমান বৈজ্ঞানিক পদ্ধতির নাগালের বাইরে।

একটি মাল্টিভার্সকে সমর্থনকারী কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির ধারণাটি অনুমানমূলক এবং অনেকাংশে অপরিষ্কৃত থেকে যায়, তবে এটি তাত্ত্বিক পদার্থবিদদের মোহিত করে চলেছে কারণ এটি আমাদের বোঝার সীমানাকে ঠেলে দেয়। যেহেতু পদার্থবিজ্ঞানীরা কোয়ান্টাম ক্ষেত্রগুলির গভীরতর বোঝার সন্ধান করেন, তারা নতুন নীতিগুলি উন্মোচন করতে পারে যা হয় বহুমুখী অনুমানকে সমর্থন করে বা চ্যালেঞ্জ করে। সম্ভবত আমাদের মহাবিশ্বে কণার জন্ম দেয় এমন ক্ষেত্রগুলি সম্পূর্ণ ভিন্ন বাস্তবতা তৈরি করে। অথবা হয়তো কোয়ান্টাম মেকানিক্স এবং কসমোলজিতে নতুন আবিষ্কারগুলি একদিন একটি একক ইউনিফাইড মহাবিশ্বকে প্রকাশ করবে যা আমাদের পর্যবেক্ষণগুলিকে বহুবিশ্বের প্রয়োজন ছাড়াই ব্যাখ্যা করবে।

আপাতত, কোয়ান্টাম ক্ষেত্র এবং মাল্টিভার্স হাইপোথিসিস তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞানে ধারণাগুলির একটি শক্তিশালী সংমিশ্রণ হিসেবে কাজ করে যা আমরা বর্তমানে যা জানি তার চেয়ে অনেক বড় এবং অপরিচিত বাস্তবতার ইঙ্গিত দেয়। তারা আমাদের মহাবিশ্বের বাইরে চিন্তা করার, সম্ভাব্য বাস্তবতার একটি বিশাল অ্যারের বিবেচনা করার এবং কোয়ান্টাম তত্ত্ব এবং মহাজাগতিকতার লেন্সের মাধ্যমে অস্তিত্বের চূড়ান্ত প্রকৃতি অন্বেষণ করার জন্য আমাদের চ্যালেঞ্জ করে। এই ধারণাগুলি একদিন পরীক্ষাযোগ্য হবে বা তাত্ত্বিক কৌতূহল থাকবে, তারা আমাদের মহাবিশ্ব সম্পর্কে আমাদের বোঝার প্রসারিত করতে উৎসাহিত করে, এমন সম্ভাবনার দরজা খুলে দেয় যেগুলি যতটা গভীর ততই আকর্ষণীয়।

