Shakil Mahmud • Research Monograph

SHAKIL MAHMUD EDITORIAL & RESEARCH MONOGRAPHS

পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ

গ্যালিলিওর গতিবিদ্যা ও নিউটনের মহাকর্ষ থেকে শুরু করে ম্যাক্সওয়েল, আইনস্টাইন, কোয়ান্টাম বলবিদ্যা এবং স্থান-কালের একীভূত কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটির মহাকাব্যিক সন্ধান।

SHAKIL MAHMUD

গবেষক ও লেখক

SHAKIL MAHMUD EDITORIAL & RESEARCH SERIES

প্রথম সংকলিত সংস্করণ • ঢাকা ও সিঙ্গাপুর • ২০২৬

পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ

গ্যালিলিওর গতিবিদ্যা ও নিউটনের মহাকর্ষ থেকে শুরু করে ম্যাক্সওয়েল, আইনস্টাইন, কোয়ান্টাম বলবিদ্যা এবং স্থান-কালের একীভূত কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটির মহাকাব্যিক সন্ধান।

LIBRARY & CATALOGING-IN-PUBLICATION DATA

Title: পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ
Author: Shakil Mahmud
Series: Shakil Mahmud Editorial & Research Series (Monograph Collection)
Subjects: Science -- History -- Philosophy -- Mathematics -- Civilization
Published: Dhaka & Singapore, 2026
Format: Digital Monograph Offprint (PDF) • Complete 20-Part Collected Edition
Permanent URI: https://shakilmahmud.com/series/physics/

প্রস্তাবিত সাইটেশন:
Mahmud, Shakil. (2026). *পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ: The Complete 20-Part Collected Monograph*. Shakil Mahmud Research Series. https://shakilmahmud.com/series/physics/

Open Scholarly Access: This collected monograph is published under Open Scholarly Access for personal study, academic citation, university pedagogy, and non-commercial research.

© 2026 Shakil Mahmud. All rights reserved. Typeset and published at Dhaka and Singapore.

Shakil Mahmud • Research Monograph

তাত্ত্বিক ভূমিকা

ভূমিকা: জ্ঞানের একীভূত রূপরেখা

আনত তলে গ্যালিলিওর গোলকের গতি থেকে শুরু করে কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটির একীভূত তত্ত্বের সন্ধান—পদার্থবিজ্ঞানের ইতিহাস হলো মহাবিশ্বের গাণিতিক স্থাপত্য অনুধাবনে মানবজাতির চারশত বছরের অবিরাম অভিযাত্রা। এই মনোগ্রাফে ২০টি প্রামাণ্য অধ্যায়ে তুলে ধরা হয়েছে চিরায়ত গতিবিদ্যা, নিউটনের মহাকর্ষ, তাপগতিবিদ্যা, ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎচুম্বকত্ব, আপেক্ষিকতা, কোয়ান্টাম বলবিদ্যা ও আধুনিক ক্ষেত্রতত্ত্বের সামগ্রিক রূপরেখা।

এই গবেষণামূলক কাজের উদ্দেশ্য কেবল তথ্য উপস্থাপন নয়, বরং চিন্তার গভীর বিকাশকে পাঠকের সামনে উন্মোচন করা। প্রতিটি পরিচ্ছদ এক একটি যুগান্তকারী বৌদ্ধিক সংকটের সমাধান হিসেবে কীভাবে আবির্ভূত হয়েছে, তা এখানে পদ্ধতিগতভাবে লিপিবদ্ধ করা হলো।

— Shakil Mahmud
Dhaka & Singapore, 2026

অধ্যায় সূচি

সূচিপত্র

প্রথম পর্যায়: প্রাচীন ও শাস্ত্রীয় যুগ

খণ্ড ১ গতির প্রথম সূত্র — গ্যালিলিও গ্যালিলি, পড়ন্ত বস্তু এবং পরীক্ষামূলক বিজ্ঞানের বিপ্লব — 527 শব্দ
গতির প্রথম সূত্র — গ্যালিলিও গ্যালিলি, পড়ন্ত বস্তু এবং পরীক্ষামূলক বিজ্ঞানের বিপ্লব

খণ্ড ২ প্রিন্সিপিয়া বিপ্লব — আইজ্যাক নিউটন, গতিসূত্র এবং সার্বজনীন মহাকর্ষের মেলবন্ধন — 380 শব্দ
প্রিন্সিপিয়া বিপ্লব — আইজ্যাক নিউটন, গতিসূত্র এবং সার্বজনীন মহাকর্ষের মেলবন্ধন

খণ্ড ৩ তরঙ্গের সুর — হাইগেন্স, টমাস ইয়াং-এর দ্বি-চির পরীক্ষা এবং আলোর প্রকৃত স্বরূপ — 437 শব্দ
তরঙ্গের সুর — হাইগেন্স, টমাস ইয়াং-এর দ্বি-চির পরীক্ষা এবং আলোর প্রকৃত স্বরূপ

খণ্ড ৪ তাপগতিবিদ্যার অগ্নি — সাদি কারনট, বাষ্পীয় ইঞ্জিন, এনট্রপি এবং সময়ের তীর — 429 শব্দ
তাপগতিবিদ্যার অগ্নি — সাদি কারনট, বাষ্পীয় ইঞ্জিন, এনট্রপি এবং সময়ের তীর

খণ্ড ৫ বলসমূহের মহা-ঐক্যবদ্ধকরণ — জেমস ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল এবং তড়িৎ-চৌম্বকীয় ক্ষেত্র — 454 শব্দ
বলসমূহের মহা-ঐক্যবদ্ধকরণ — জেমস ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল এবং তড়িৎ-চৌম্বকীয় ক্ষেত্র

দ্বিতীয় পর্যায়: মধ্যযুগীয় রূপান্তর

খণ্ড ৬ অতিবেগুনী বিপর্যয় — ম্যাক্স প্লাঙ্ক এবং কোয়ান্টামের জন্ম — 489 শব্দ
অতিবেগুনী বিপর্যয় — ম্যাক্স প্লাঙ্ক এবং কোয়ান্টামের জন্ম

খণ্ড ৭ স্থান-কালের মহাবুনন — আলবার্ট আইনস্টাইন এবং বিশেষ আপেক্ষিকতা — 633 শব্দ
স্থান-কালের মহাবুনন — আলবার্ট আইনস্টাইন এবং বিশেষ আপেক্ষিকতা

খণ্ড ৮ মহাকর্ষের জ্যামিতি — সাধারণ আপেক্ষিকতা এবং মহাবিশ্বের বক্রতা — 444 শব্দ
মহাকর্ষের জ্যামিতি — সাধারণ আপেক্ষিকতা এবং মহাবিশ্বের বক্রতা

খণ্ড ৯ কোয়ান্টাম উল্লম্ফন — নিলস বোর এবং পরমাণুর গঠন — 433 শব্দ
কোয়ান্টাম উল্লম্ফন — নিলস বোর এবং পরমাণুর গঠন

খণ্ড ১০ পদার্থের তরঙ্গ ও সম্ভাবনার কুয়াশা — লুই দ্য ব্রয়, এরউইন শ্রোডিঙ্গার এবং ভের্নার হাইজেনবার্গ — 392 শব্দ
পদার্থের তরঙ্গ ও সম্ভাবনার কুয়াশা — লুই দ্য ব্রয়, এরউইন শ্রোডিঙ্গার এবং ভের্নার হাইজেনবার্গ

তৃতীয় পর্যায়: আধুনিক বিপ্লব ও বিজ্ঞান

খণ্ড ১১ আপেক্ষিক কোয়ান্টাম এবং প্রতিপদার্থ — পল ডিরাকের সমীকরণ — 426 শব্দ
আপেক্ষিক কোয়ান্টাম এবং প্রতিপদার্থ — পল ডিরাকের সমীকরণ

খণ্ড ১২ পরমাণু কেন্দ্রের বিভাজন — লিসা মাইটনার, অটো হান এবং নিউক্লিয়ার ফিশন — 468 শব্দ
পরমাণু কেন্দ্রের বিভাজন — লিসা মাইটনার, অটো হান এবং নিউক্লিয়ার ফিশন

খণ্ড ১৩ বিজ্ঞানের শিরোমণি — কোয়ান্টাম ইলেকট্রোডায়নামিক্স এবং ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম — 413 শব্দ
বিজ্ঞানের শিরোমণি — কোয়ান্টাম ইলেকট্রোডায়নামিক্স এবং ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম

খণ্ড ১৪ মৌলিক কণার চিড়িয়াখানা ও স্ট্যান্ডার্ড মডেল — মারে গেল-ম্যান এবং কোয়ার্ক তত্ত্ব — 442 শব্দ
মৌলিক কণার চিড়িয়াখানা ও স্ট্যান্ডার্ড মডেল — মারে গেল-ম্যান এবং কোয়ার্ক তত্ত্ব

খণ্ড ১৫ মহাজাগতিক প্রতিধ্বনি — আর্নো পেনজিয়াস, রবার্ট উইলসন এবং বিগ ব্যাং — 465 শব্দ
মহাজাগতিক প্রতিধ্বনি — আর্নো পেনজিয়াস, রবার্ট উইলসন এবং বিগ ব্যাং

Shakil Mahmud • Research Monograph

চতুর্থ পর্যায়: সমকালীন যুগ ও ভবিষ্যতের দিগন্ত

খণ্ড ১৬	তড়িৎ-দুর্বল মহা-ঐক্য — আবদুস সালাম, স্টিভেন ওয়াইনবার্গ এবং শেলডন গ্ল্যাশো *তড়িৎ-দুর্বল মহা-ঐক্য — আবদুস সালাম, স্টিভেন ওয়াইনবার্গ এবং শেলডন গ্ল্যাশো*	447 শব্দ
খণ্ড ১৭	ভরের আদি উৎস — হিগস মেকানিজম এবং লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডার *ভরের আদি উৎস — হিগস মেকানিজম এবং লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডার*	420 শব্দ
খণ্ড ১৮	সিঙ্গুলারিটি ও ঘটনা দিগন্ত — কৃষ্ণগহ্বরের পদার্থবিজ্ঞান *সিঙ্গুলারিটি ও ঘটনা দিগন্ত — কৃষ্ণগহ্বরের পদার্থবিজ্ঞান*	441 শব্দ
খণ্ড ১৯	স্থান-কালের মহাতরঙ্গ — মহাকর্ষীয় তরঙ্গ এবং মাল্টি-মেসেঞ্জার জ্যোতির্বিজ্ঞান *স্থান-কালের মহাতরঙ্গ — মহাকর্ষীয় তরঙ্গ এবং মাল্টি-মেসেঞ্জার জ্যোতির্বিজ্ঞান*	489 শব্দ
খণ্ড ২০	চূড়ান্ত সন্ধান — কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটি, হলোগ্রাফি এবং ২০২৬ সালের পদার্থবিজ্ঞান *চূড়ান্ত সন্ধান — কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটি, হলোগ্রাফি এবং ২০২৬ সালের পদার্থবিজ্ঞান*	638 শব্দ

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • প্রথম খণ্ড

গতির প্রথম সূত্র — গ্যালিলিও গ্যালিলি, পড়ন্ত বস্তু এবং পরীক্ষামূলক বিজ্ঞানের বিপ্লব

গতির প্রথম সূত্র — গ্যালিলিও গ্যালিলি, পড়ন্ত বস্তু এবং পরীক্ষামূলক বিজ্ঞানের বিপ্লব

527 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১: *চিত্র: গ্যালিলিও গ্যালিলি (১৫৬৪–১৬৪২)—ইতালীয় বহুবিদ্যাবিশারদ যিনি আনত তল ও পড়ন্ত বস্তুর পরীক্ষার মাধ্যমে অ্যারিস্টটলীয় ধারণার অবসান ঘটিয়ে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের মাধ্যমে আধুনিক পর্যবেক্ষণমূলক পদার্থবিজ্ঞানের সূচনা করেন।*

সপ্তদশ শতাব্দীর পূর্ব পর্যন্ত পদার্থবিজ্ঞান কোনো পরিমাপযোগ্য বা গাণিতিক শাস্ত্র ছিল না; তা ছিল মূলত অ্যারিস্টটলের অনুমাননির্ভর দার্শনিক চিন্তার এক জগত। সেখানে ধারণা করা হতো, ভারী বস্তু তার অভ্যন্তরীণ ইচ্ছার কারণেই দ্রুত পৃথিবীর কেন্দ্রে পৌঁছাতে চায় এবং বস্তুর ওজন যত বেশি, পতনের বেগও ঠিক তত বেশি। স্বর্গীয় মহাকাশ ছিল সম্পূর্ণ অপরিবর্তনশীল ও নিখুঁত। এই দুই হাজার বছরের বদ্ধমূল ধারণাকে যিনি পরীক্ষাগারের সুনির্দিষ্ট পরীক্ষা, আনত তল এবং নিজের তৈরি দূরবীক্ষণ যন্ত্র দিয়ে ভেঙে চুরমার করে দেন, তিনি হলেন গ্যালিলিও গ্যালিলি।

১. অ্যারিস্টটলীয় বিভ্রান্তি এবং গ্যালিলিওর যুক্তির আঘাত

প্রাচীন গ্রিক বিজ্ঞানের অনুশাসন অনুযায়ী বিশ্বাস করা হতো যে, একটি পাঁচ পাউন্ডের লোহার গোলক একটি এক পাউন্ডের গোলকের চেয়ে পাঁচ গুণ দ্রুত মাটিতে পড়বে। দৈনন্দিন জীবনে বাতাসের বাধার কারণে পালক ধীরে পড়লেও অ্যারিস্টটলীয়রা সেই বাতাসকে দূর করার কথা ভাবেননি।

গ্যালিলিও একটি বিখ্যাত কাল্পনিক যুক্তির (Thought Experiment) মাধ্যমে অ্যারিস্টটলের স্ববিরোধিতা উন্মোচন করেন:

> *“যদি আমরা একটি হালকা পাথরকে একটি ভারী পাথরের সাথে বেঁধে ওপর থেকে ফেলে দিই, তবে কী ঘটবে? অ্যারিস্টটলের মতবাদ সত্য হলে হালকা পাথরটি ভারী পাথরটির গতিকে টেনে ধীর করে দেবে। কিন্তু সামগ্রিকভাবে দুটি পাথর মিলে তো আগের ভারী পাথরের চেয়েও আরও ভারী হয়ে গেছে! অতএব, যুক্তির নিয়মেই বস্তুটিকে একই সাথে আগের চেয়ে দ্রুত এবং আগের চেয়ে ধীরে পড়তে হবে—যা অসম্ভব ও ভিত্তিহীন।”*

Shakil Mahmud • Research Monograph

২. আনত তলের পরীক্ষা এবং ত্বরণের বর্গীয় সূত্র

তৎকালীন সময়ে নিখুঁত স্টপওয়াচ না থাকায় মুক্তভাবে পড়ন্ত বস্তুর অতিদ্রুত গতি মাপা ছিল কঠিন। গ্যালিলিও একটি অনন্য কৌশল আবিষ্কার করেন—মহাকর্ষের গতিকে মন্থর করা। তিনি মসৃণ কাঠের তক্তার ওপর সূক্ষ্ম ব্রোঞ্জের গোলক গড়িয়ে দিলেন।

জলঘড়ি (Clepsydra) ও নিজের নাড়ির স্পন্দন গুনে তিনি আবিষ্কার করেন এক অবিস্মরণীয় সত্য: পতনের অতিক্রান্ত দূরত্ব সময়ের সমানুপাতিক নয়, বরং সময়ের বর্গের সমানুপাতিক:

$$dproptot^2 quadimpliesquadd = frac12at^2$$

সমান সময় ব্যবধানে ($১, ২, ৩, ৪dots$) অতিক্রান্ত দূরত্ব বৃদ্ধি পায় বিজোড় সংখ্যার অনুক্রম মেনে:

$$Deltad_1 : Deltad_2 : Deltad_3 : Deltad_4 = ১ : ৩ : ৫ : ৭$$

মানবজাতির ইতিহাসে প্রথমবারের মতো প্রমাণিত হলো, প্রকৃতির ভৌত প্রক্রিয়া কোনো খেয়ালখুশি নয়, বরং তা নির্ভুল গাণিতিক গতিসূত্রে আবদ্ধ:

$$v(t) = v_0 + at, quadv^2 = v_0^2 + 2ad$$

৩. প্রক্ষেপকের গতি ও পরাবৃত্তীয় গতিপথ

কামান থেকে ছোঁড়া গোলার গতিপথ নিয়ে প্রচলিত ধারণা ছিল যে তা সোজাসুজি ছুটে যায় এবং শক্তি শেষ হলে খাড়া নিচে পড়ে যায়। গ্যালিলিও প্রমাণ করেন যে প্রক্ষেপকের গতি মূলত দুটি সম্পূর্ণ স্বাধীন গতির সমন্বয়:

1. **অনুভূমিক গতি:** কোনো ত্বরণ নেই, সমবেগে জড়তা মেনে চলমান ($x = v_x t$)।
2. **উল্লম্ব গতি:** অভিকর্ষজ ত্বরণের অধীনে মুক্ত পতন (y = v_{y0} t – frac{1}{2}gt^2)।

উভয় সমীকরণ থেকে সময় t অপসারণ করলে পাওয়া যায় এক নিখুঁত পরাবৃত্তের (Parabola) সমীকরণ:

y(x) = left(frac{v_{y0}}{v_x}right)x – left(frac{g}{2 v_x^2}right)x^2

৪. দূরবীক্ষণ যন্ত্র ও নক্ষত্রলোকের রহস্য উন্মোচন

১৬০৯ সালে দূরবীক্ষণ যন্ত্র তৈরি করে গ্যালিলিও যখন রাতের আকাশের দিকে তাকান, তখন শত শত বছরের ভূ-কেন্দ্রিক বিশ্বতত্ত্ব ধসে পড়ে:

- **চাঁদের পৃষ্ঠ:** মসৃণ স্ফটিক নয়, বরং গিরিখাত ও উপত্যকায় ভরা পৃথিবীর মতোই একটি রুক্ষ গোলক।
- **বৃহস্পতির চারটি চাঁদ:** প্রমাণ করে যে মহাবিশ্বের সবকিছু একমাত্র পৃথিবীকে কেন্দ্র করে ঘোরে না।
- **শুক্রের কলা (Phases of Venus):** চাঁদের মতো শুক্রের বিভিন্ন দশার হ্রাস-বৃদ্ধি প্রমাণ করে যে শুক্র গ্রহ সূর্যের চারপাশেই ঘোরে।

বিজ্ঞানের নতুন দিশা: গ্যালিলিও শুধু বিজ্ঞানের নতুন সূত্র দেননি, তিনি বিজ্ঞানচর্চার পদ্ধতিটিই বদলে দিয়েছেন। পর্যবেক্ষণ, গাণিতিক মডেল এবং পরীক্ষামূলক যাচাই—এই তিনের সমন্বয়ে তিনি সূচনা করেন আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান।

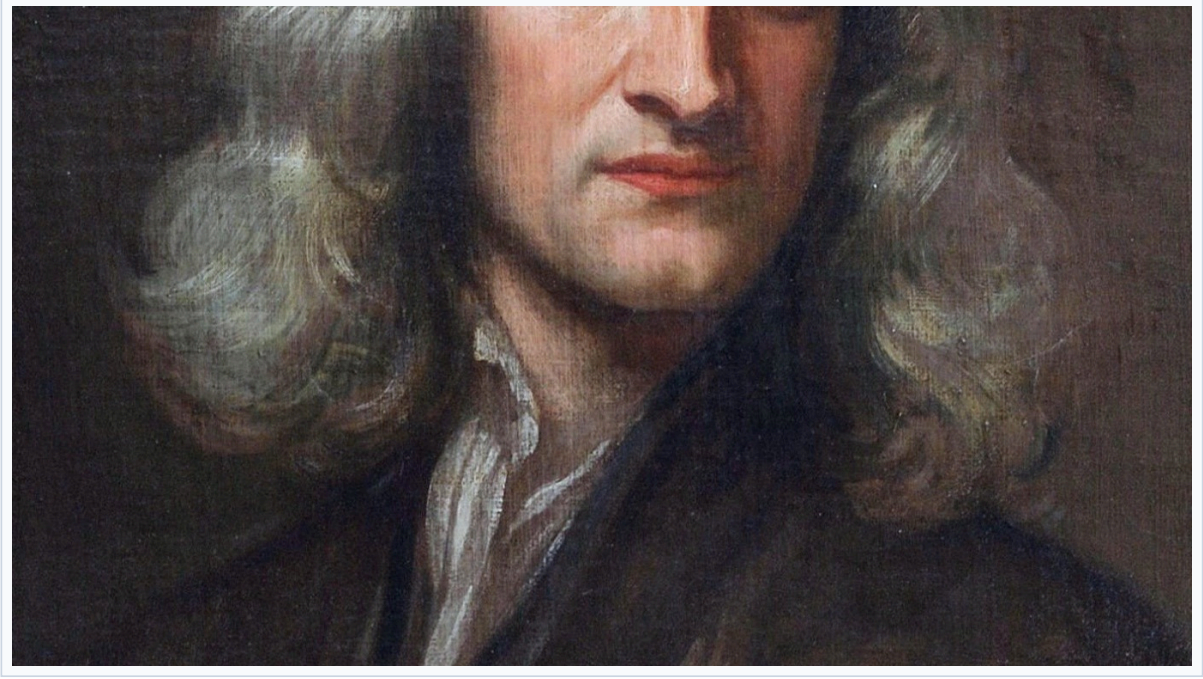
সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "গতির প্রথম সূত্র — গ্যালিলিও গ্যালিলি, পড়ন্ত বস্তু এবং পরীক্ষামূলক বিজ্ঞানের বিপ্লব"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ১।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-01-dawn-of-kinematics-galileo-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দ্বিতীয় খণ্ড

প্রিন্সিপিয়া বিপ্লব — আইজ্যাক নিউটন, গতিসূত্র এবং সার্বজনীন মহাকর্ষের মেলবন্ধন

প্রিন্সিপিয়া বিপ্লব — আইজ্যাক নিউটন, গতিসূত্র এবং সার্বজনীন মহাকর্ষের মেলবন্ধন

380 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ২: *চিত্র: স্যার আইজ্যাক নিউটন (১৬৪২–১৭২৭)—১৬৮৭ সালে প্রকাশিত তাঁর যুগান্তকারী 'প্রিন্সিপিয়া ম্যাথমেটিকা' গ্রন্থে তিনটি গতিসূত্র ও সার্বজনীন মহাকর্ষের মাধ্যমে পার্থিব ও মহাজাগতিক গতির অভিন্ন নিয়ম প্রতিষ্ঠা করেন।*

১৬৬৫ সালে যখন মহামারি প্লেগের কারণে কেমব্রিজ বিশ্ববিদ্যালয় অনির্দিষ্টকালের জন্য বন্ধ হয়ে যায়, তখন বাইশ বছর বয়সী ছাত্র আইজ্যাক নিউটন ফিরে যান লিংকনশায়ারের উলসথর্পের নির্জন গ্রামে। পরবর্তী আঠারো মাসের সেই ঐতিহাসিক নির্জনতায় নিউটন মানব ইতিহাসের অন্যতম বিস্ময়কর বুদ্ধিবৃত্তিক অগ্রযাত্রার সূচনা করেন: তিনি তৈরি করেন ক্যালকুলাসের ভিত্তি, আলোর বর্ণালী পরীক্ষা এবং মহাকর্ষের আদিম রূপরেখা। এর বাইশ বছর পর, ১৬৮৭ সালে রয়্যাল সোসাইটি থেকে প্রকাশিত হয় তাঁর সর্বকালের সেরা গ্রন্থ: *ফিলোসফিয়ে ন্যাচারালিস প্রিন্সিপিয়া ম্যাথমেটিকা*।

১. চিরায়ত বলবিদ্যার ভিত্তি: নিউটনের তিনটি গতিসূত্র

নিউটন কোনো দার্শনিক ভাবাবেগ দিয়ে শুরু করেননি; তিনি শুরু করেছিলেন ভর, ভরবেগ ($p = mv$) এবং বলের সুনির্দিষ্ট সংজ্ঞার মাধ্যমে:

$$text{প্রথমসূত্র(জড়তা)} : sumvecF = 0 implies fracdvecvdt = 0$$

বাইরে থেকে বল প্রয়োগ না করলে স্থির বস্তু চিরকাল স্থির থাকবে এবং গতিশীল বস্তু সুষম দ্রুতিতে সরলরেখায় চলতে থাকবে।

$$text{দ্বিতীয়সূত্র(বলবিদ্যা)} : vecF = fracdvecpdt = mfracdvecvdt = mveca$$

বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তনের হার তার ওপর প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক এবং বল যেদিকে ক্রিয়া করে বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তনও সেদিকেই ঘটে।

Shakil Mahmud • Research Monograph

$$text{তৃতীয়সূত্র(ক্রিয়া − প্রতিক্রিয়া)} : vec{F}_{AtoB} = -vec{F}_{BtoA}$$

প্রত্যেক ক্রিয়ারই একটি সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া রয়েছে।

২. সার্বজনীন মহাকর্ষ: আপেল পতন থেকে চাঁদের আবর্তন

নিউটনের সবচেয়ে বড় অন্তর্দৃষ্টি ছিল একীকরণ: যে বলের কারণে গাছের আপেল নিচে মাটিতে পড়ে, ঠিক সেই একই মহাকর্ষ বল চাঁদকে সরলরেখায় মহাশূন্যে ছিটকে না দিয়ে পৃথিবীর কক্ষপথে বেঁধে রেখেছে।

পৃথিবীর ব্যাসার্ধের সাথে চাঁদের দূরত্বের তুলনা করে তিনি দেখেন, চাঁদ পৃথিবী থেকে প্রায় ৬০ পৃথিবীর ব্যাসার্ধ দূরে অবস্থিত। আর চাঁদের ত্বরণ পৃথিবীর পৃষ্ঠের ত্বরণের চেয়ে ঠিক ৬০² = ৩৬০০ গুণ কম:

$$frac{g}{a_{text{moon}}} approx frac{৯.৮}{০.০০২৭২} approx ৩৬০০ = ৬০^২$$

এখান থেকেই তিনি প্রতিষ্ঠা করেন দূরত্বের বর্গের বিপরীতানুপাতিক সূত্র (Inverse-Square Law):

$$F = G frac{m_1 m_2}{r^2}$$

৩. কেপলারের সূত্রের গাণিতিক প্রমাণ

নিউটনের আগে ইয়োহানেস কেপলার পর্যবেক্ষণ থেকে গ্রহদের গতির তিনটি নিয়ম দিয়েছিলেন, কিন্তু কেন গ্রহগুলো এমন করে ঘোরে তার কোনো ভৌত কারণ তিনি জানতেন না। নিউটন তাঁর নতুন গণিত ক্যালকুলাস প্রয়োগ করে প্রমাণ করেন যে কেন্দ্রীয় মহাকর্ষ বলের প্রভাবেই:

1. গ্রহদের কক্ষপথ উপবৃত্তাকার হতে বাধ্য যার একটি ফোকাসে সূর্য থাকে।
2. কৌণিক ভরবেগের সংরক্ষণশীলতার কারণে সমান সময়ে সমান ক্ষেত্রফল অতিক্রান্ত হয়।
3. আবর্তনকালের বর্গ কক্ষপথের অর্ধ-মুখ্য অক্ষের ঘনফলের সমানুপাতিক ($T^2 propto a^3$)।

$$T^2 = left(frac{4 pi^2}{G(M+m)} right) a^3$$

ঘড়ির মতো সুশৃঙ্খল বিশ্ব: নিউটনের প্রিন্সিপিয়া প্রমাণ করল যে স্বর্গ আর মর্ত্য আলাদা কোনো নিয়ম মানে না। সমস্ত মহাবিশ্ব একটি বিশাল, নিয়মতান্ত্রিক ও গাণিতিক ঘড়ির মতো অভিন্ন ভৌত নীতিতে পরিচালিত।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "প্রিন্সিপিয়া বিপ্লব — আইজ্যাক নিউটন, গতিসূত্র এবং সার্বজনীন মহাকর্ষের মেলবন্ধন"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ২।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-02-principia-newton-gravitation-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • তৃতীয় খণ্ড

তরঙ্গের সুর — হাইগেন্স, টমাস ইয়াং-এর দ্বি-চির পরীক্ষা এবং আলোর প্রকৃত স্বরূপ

তরঙ্গের সুর — হাইগেন্স, টমাস ইয়াং-এর দ্বি-চির পরীক্ষা এবং আলোর প্রকৃত স্বরূপ

437 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৩: *চিত্র: টমাস ইয়াং (১৭৭৩–১৮২৯)—১৮০১ সালের ঐতিহাসিক দ্বি-চির পরীক্ষার মাধ্যমে তিনি প্রমাণ করেন যে আলো কণার পরিবর্তে তরঙ্গ হিসেবে আচরণ করে এবং ব্যতিচার প্যাটার্ন তৈরি করে।*

আলো আসলে কী? আইজ্যাক নিউটনের মতে, আলো ছিল অসংখ্য ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র কণার (Corpuscles) প্রবাহ, যা বিলিয়ার্ড বলের মতো সরলরেখায় চলে প্রতিফলিত হয়। অন্যদিকে ডাচ গণিতবিদ ক্রিশ্চিয়ান হাইগেন্স দাবি করেছিলেন, আলো কোনো কণা নয়—বরং মহাশূন্যে ইথারের মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত এক যান্ত্রিক তরঙ্গ। নিউটনের বিপুল খ্যাতির কারণে প্রায় এক শতাব্দী ধরে হাইগেন্সের তরঙ্গ তত্ত্ব উপেক্ষিত ছিল। অবশেষ ১৮০১ সালে ব্রিটিশ বিজ্ঞানী টমাস ইয়াং একটি কার্ডবোর্ডে দুটি সূক্ষ্ম ছিদ্র করে আলোর প্রকৃতি নিয়ে শতাব্দীর বিতর্ক চিরতরে বদলে দেন।

১. হাইগেন্সের নীতি ও তরঙ্গাভিমুখের জ্যামিতি

১৬৭৮ সালে ক্রিশ্চিয়ান হাইগেন্স প্রস্তাব করেন যে, কোনো তরঙ্গের প্রতিটি বিন্দু এক একটি গৌণ তরঙ্গের উৎস হিসেবে কাজ করে। এই গৌণ তরঙ্গগুলো তাদের নিজস্ব গোলকীয় তরঙ্গ তৈরি করে সম্মুখপানে এগিয়ে যায় এবং তাদের স্পর্শক রেখা পরবর্তী নতুন তরঙ্গাভিমুখ (Wavefront) গঠন করে।

হাইগেন্সের তত্ত্বে বলা হয়েছিল, আলো যখন হালকা মাধ্যম থেকে ঘন মাধ্যমে প্রবেশ করে, তখন তার গতি কমে যায়। কিন্তু নিউটনের কণা তত্ত্ব বলত উল্টো কথা—ঘন মাধ্যমের কণাগুলো আলোর কণাকে আকর্ষণ করায় পানিতে আলোর গতি বৃদ্ধি পাবে। তৎকালীন সময়ে আলোর গতি সঠিকভাবে পরিমাপ করার প্রযুক্তি ছিল না।

২. টমাস ইয়াং-এর দ্বি-চির ব্যতিচার পরীক্ষা (১৮০১)

টমাস ইয়াং গতি না মেপেই আলোর তরঙ্গের প্রমাণ দেন। আলো যদি নিরেট কণা হতো, তবে দুটি সমান্তরাল ছিদ্রের মধ্য দিয়ে গিয়ে পেছনের পর্দায় কেবল দুটি উজ্জ্বল রেখা তৈরি হতো। কিন্তু আলো যদি তরঙ্গ হয়, তবে দুটি চির থেকে নির্গত তরঙ্গ পরস্পরের ওপর আপতিত হবে।

Shakil Mahmud • Research Monograph

যেখানে একটি তরঙ্গের শীর্ষ অপর তরঙ্গের শীর্ষের সাথে মেলে, সেখানে গঠনমূলক ব্যতিচার (Constructive Interference) ঘটে এবং উজ্জ্বল আলোর সৃষ্টি হয়। আর যেখানে তরঙ্গের শীর্ষের সাথে তরঙ্গপাদ মেলে, সেখানে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারে অন্ধকার সৃষ্টি হয়। পর্দায় দেখা গেল চমৎকার আলো ও অন্ধকারের পর্যায়ক্রমিক ব্যতিচার ডোরার প্যাটার্ন:

$$dsintheta = mlambdaquad(textউজ্জ্বলপট্টিবাগঠনমূলক)$$

$$dsintheta = left(m + frac12right)lambdaquad(textঅন্ধকারপট্টিবাধ্বংসাত্মক)$$

ইয়াং পর্দার ডোরার ব্যবধান পরিমাপ করে ইতিহাসে প্রথমবারের মতো দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিমাপ করেন এবং দেখান যে বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় ৪০০ ন্যানোমিটার এবং লাল আলোর প্রায় ৭০০ ন্যানোমিটার।

৩. ফ্রেনেল এবং পয়সনের উজ্জ্বল বিন্দু (Poisson’s Spot)

১৮১৮ সালে ফরাসি বিজ্ঞানী ওগুস্তাঁ-জঁ ফ্রেনেল তরঙ্গের সুনির্দিষ্ট গাণিতিক রূপ দাঁড় করান। নিউটনপন্থী গণিতবিদ সিমেওঁ পোয়াসোঁ ফ্রেনেলকে ভুল প্রমাণ করার জন্য ব্যঙ্গ করে বলেন: “ফ্রেনেলের সমীকরণ মানলে তো একটি নিরেট গোলকাকার বস্তুর ছায়ার ঠিক কেন্দ্রবিন্দুতে একটি উজ্জ্বল আলোর বিন্দু দেখা যাওয়ার কথা—যা হাস্যকর!”

বিজ্ঞানী ফ্রাঁসোয়া আরাগো তাৎক্ষণিকভাবে পরীক্ষাটি করে দেখেন। সবাইকে অবাক করে দিয়ে দেখা গেল, নিরেট গোলকের ছায়ার ঠিক কেন্দ্রবিন্দুতেই ফুটে উঠেছে একটি উজ্জ্বল আলোকবিন্দু! যে যুক্তি দিয়ে তরঙ্গ তত্ত্বকে উড়িয়ে দিতে চাওয়া হয়েছিল, তা-ই হয়ে উঠল তার চরম বিজয় প্রমাণ।

তরঙ্গ বনাম কণা: ইয়াং ও ফ্রেনেলের গবেষণা সন্দেহাতীতভাবে প্রমাণ করল আলো তরঙ্গ। তবে এক শতাব্দী পর প্লাঙ্ক ও আইনস্টাইন প্রমাণ করবেন যে নিউটনের কণাবাদী ধারণাও পুরোপুরি ভুল ছিল না—উন্মোচিত হবে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া ও কোয়ান্টাম ডাবল-নেচার।

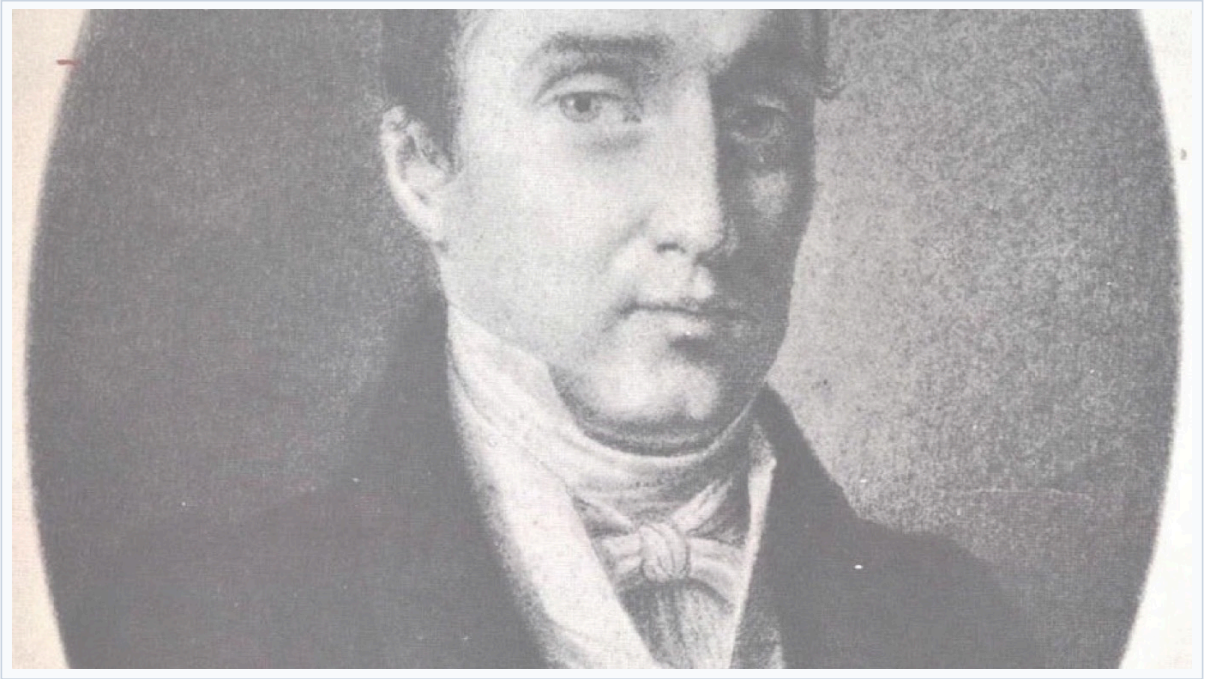
সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "তরঙ্গের সুর — হাইগেন্স, টমাস ইয়াং-এর দ্বি-চির পরীক্ষা এবং আলোর প্রকৃত স্বরূপ"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ৩।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-03-symphony-of-waves-young-huygens-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • চতুর্থ খণ্ড

তাপগতিবিদ্যার অগ্নি — সাদি কারনট, বাষ্পীয় ইঞ্জিন, এনট্রপি এবং সময়ের তীর

তাপগতিবিদ্যার অগ্নি — সাদি কারনট, বাষ্পীয় ইঞ্জিন, এনট্রপি এবং সময়ের তীর

429 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৪: *চিত্র: নিকোলাস লিওনার্ড সাদি কারনট (১৭৯৬–১৮৩২)—১৮২৪ সালে প্রকাশিত তাঁর গবেষণার মাধ্যমে তাপীয় ইঞ্জিনের সর্বোচ্চ তাত্ত্বিক কর্মদক্ষতার ধারণা দেন, যা পরবর্তীকালে তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র ও এনট্রপির জন্ম দেয়।*

নিউটনের গতিসূত্র যখন গ্রহ ও কামানের গোলার নিখুঁত হিসাব দিচ্ছিল, ঠিক তখনই শিল্পবিপ্লবের চালিকাশক্তি হয়ে উঠল এক অগ্নিতাপ: বাষ্পীয় ইঞ্জিন। কয়লা খনি থেকে পানি তোলা, ট্রেন চালানো আর টেক্সটাইল মিলের চাকা ঘোরালেও কোনো প্রকৌশলী জানতেন না তাপকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরের পরম সীমা কী। ১৮২৪ সালে সাতাশ বছর বয়সী ফরাসি সামরিক প্রকৌশলী সাদি কারনট মাত্র ১১৮ পৃষ্ঠার একটি বই লিখে জন্ম দিলেন এক নতুন বিজ্ঞানের—তাপগতিবিদ্যা (Thermodynamics), যা পরবর্তীকালে উন্মোচন করে মহাবিশ্বের সময়ের একমুখী তীর: এনট্রপি।

১. কারনট চক্র ও ইঞ্জিনের পরম কর্মদক্ষতা

কারনট উপলব্ধি করেন যে তাপীয় ইঞ্জিন তাপ খরচ করে না, বরং উচ্চ তাপমাত্রা (T_H) থেকে নিম্ন তাপমাত্রায় (T_C) তাপের প্রবাহ ঘটিয়ে কাজ উদ্ধার করে—ঠিক যেমন পানি উঁচু থেকে নিচে পড়ে জলচক্রের চাকা ঘোরায়। তিনি একটি সম্পূর্ণ বিপরীতমুখী তাত্ত্বিক ইঞ্জিন কল্পনা করেন (Carnot Cycle), যার চারটি ধাপ রয়েছে:

1. **সমোষ্ণ প্রসারণ (Isothermal Expansion):** ধ্রুব উচ্চ তাপমাত্রায় Q_H তাপ শোষণ।
2. **রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ (Adiabatic Expansion):** কোনো তাপ আদান-প্রদান ছাড়াই গ্যাসের প্রসারণ ও শীতলীকরণ।
3. **সমোষ্ণ সংকোচন (Isothermal Compression):** ধ্রুব নিম্ন তাপমাত্রায় Q_C তাপ বর্জন।
4. **রুদ্ধতাপীয় সংকোচন (Adiabatic Compression):** তাপ বাইরে না দিয়ে পুনরায় তাপমাত্রা T_H-এ ফিরিয়ে আনা।

কারনট গাণিতিকভাবে প্রমাণ করেন যে দুটি তাপমাত্রার মধ্যে কার্যকর কোনো ইঞ্জিনই একটি আদর্শ কারনট ইঞ্জিনের চেয়ে বেশি কর্মদক্ষ হতে পারে না:

eta_{text{Carnot}} = frac{W}{Q_H} = ১ – frac{T_C}{T_H}

Shakil Mahmud • Research Monograph

২. ক্লসিয়াস এবং এনট্রপির জন্ম

১৮৫০-এর দশকে রুডলফ ক্লসিয়াস এবং লর্ড কেলভিন প্রমাণ করেন তাপ কোনো তরল নয়, অণুগুলোর বিশৃঙ্খল গতিশক্তি। শক্তি কখনো ধ্বংস হয় না—এটি তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র:

dU = delta Q – delta W

কিন্তু শক্তির নিত্যতা দিয়ে ব্যাখ্যা করা যায় না কেন তাপ স্বয়ংক্রিয়ভাবে গরম থেকে ঠাণ্ডার দিকে যায়, কিন্তু ঠাণ্ডা থেকে গরমে আসে না। ক্লসিয়াস একটি নতুন ধর্ম সংজ্ঞায়িত করেন—**এনট্রপি (S)**:

$$dS = fracdeltaQ_textrevT$$

তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র ঘোষণা করল: মহাবিশ্বের যেকোনো বিচ্ছিন্ন ব্যবস্থায় মোট এনট্রপি সর্বদা বৃদ্ধি পায় অথবা ধ্রুব থাকে, কখনোই হ্রাস পেতে পারে না:

$$DeltaS_textuniversege0$$

৩. বোল্টজম্যান ও অণু-পরমাণুর সম্ভাব্যতার জগত

ভিয়েনায় লুডভিগ বোল্টজম্যান তাপগতিবিদ্যাকে অণু-পরমাণুর আণুবীক্ষণিক গতিবিধির সাথে যুক্ত করেন। তিনি দেখান, এনট্রপি মূলত বিশৃঙ্খলার সম্ভাব্যতার পরিমাপ—একটি নির্দিষ্ট দৃশ্যমান অবস্থার সাথে সংশ্লিষ্ট অণুগুলোর কতগুলো সম্ভাব্য বিন্যাস ($Omega$) হতে পারে:

$$S = k_BlnOmega$$

মেঝেতে একটি কাঁচের গ্লাস পড়লে তা ভেঙে চুরমার হয়ে যায়, কিন্তু ভাঙা টুকরোগুলো কখনোই নিজে থেকে জোড়া লেগে আবার গ্লাস হয় না কেন? কারণ জোড়া গ্লাসের বিন্যাস মাত্র একটি, কিন্তু ভাঙা কাঁচের টুকরোগুলোর বিশৃঙ্খল বিন্যাস ট্রিলিয়ন ট্রিলিয়ন। এনট্রপিই নির্ধারণ করে **সময়ের তীর (Arrow of Time)**—সময় কেবল সেই দিকেই এগোয় যেদিকে মহাবিশ্বের বিশৃঙ্খলা বাড়ে।

মহাজাগতিক পরিণতি: তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের এক ভয়াবহ মহাজাগতিক ইঙ্গিত রয়েছে: তাপীয় মৃত্যু (Heat Death of the Universe)। একদিন মহাবিশ্বের সব নক্ষত্র নিভে যাবে, সব তাপমাত্রার পার্থক্য শূন্য হয়ে যাবে—আর কোনো কাজ করা যাবে না, কোনো প্রাণের অস্তিত্ব থাকবে না।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "তাপগতিবিদ্যার অগ্নি — সাদি কারনট, বাষ্পীয় ইঞ্জিন, এনট্রপি এবং সময়ের তীর"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ৪।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-04-fire-of-thermodynamics-entropy-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • পঞ্চম খণ্ড

বলসমূহের মহা-ঐক্যবদ্ধকরণ — জেমস ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল এবং তড়িৎ-চৌম্বকীয় ক্ষেত্র

বলসমূহের মহা-ঐক্যবদ্ধকরণ — জেমস ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল এবং তড়িৎ-চৌম্বকীয় ক্ষেত্র

454 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৫: *চিত্র: জেমস ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল (১৮৩১–১৮৭৯)—স্কটিশ পদার্থবিজ্ঞানী যিনি চারটি কালজয়ী আংশিক ব্যবকলনীয় সমীকরণের মাধ্যমে তড়িৎ ও চুম্বকত্বকে একীভূত করে দেখান যে আলো মূলত একটি তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ।*

১৮৬৫ সালে স্কটিশ পদার্থবিজ্ঞানী জেমস ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল প্রকাশ করেন তাঁর যুগান্তকারী গবেষণা *“এ ডায়নামিক্যাল থিওরি অব দ্য ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক ফিল্ড”*। রিচার্ড ফাইনম্যান পরবর্তীকালে একে উনবিংশ শতাব্দীর সবচেয়ে তাৎপর্যপূর্ণ ঘটনা হিসেবে আখ্যায়িত করেন: তড়িৎ, চুম্বকত্ব এবং আলোকবিদ্যাকে চারটি সংহত ব্যবকলনীয় সমীকরণের মাধ্যমে একটি সার্বজনীন কাঠামোতে আবদ্ধ করার ইতিহাস।

কুলম্ব, অ্যাম্পিয়ার ও ফ্যারাডের বিচ্ছিন্ন ধারা

শতাব্দীর পর শতাব্দী ধরে তড়িৎ এবং চুম্বকত্বকে সম্পূর্ণ পৃথক প্রাকৃতিক ঘটনা মনে করা হতো। রেশমে ঘষা অ্যাম্বার পালককে আকর্ষণ করে, আবার ম্যাগনেটাইট পাথর উত্তর-দক্ষিণে মুখ করে থাকে। ১৭৮৫ সালে শার্ল দ্য কুলম্ব দুটি স্থির আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের দূরত্বের ব্যস্তানুপাতিক বর্গের সূত্র ($Fpropto frac q_1 q_2 r^2$) আবিষ্কার করেন।

১৮২০ সালের বসন্তে হ্যান্স ক্রিশ্চিয়ান ওয়েরস্টেড এক বক্তৃতার সময় দেখান যে পরিবাহী তারে তড়িৎ প্রবাহিত হলে পাশে থাকা কম্পাস শলাকা বিচ্যুত হয়। মাত্র কয়েক মাসের মধ্যে অঁদ্রে-মারি অ্যাম্পিয়ার তড়িৎবাহী তারের মধ্যকার চৌম্বক বল পরিমাপ করেন।

কিন্তু প্রকৃত বৈপ্লবিক দর্শন নিয়ে এলেন মাইকেল ফ্যারাডে। কোনও প্রথাগত গণিত না জানা সত্ত্বেও তিনি জ্যামিতিক অনুভূতির সাহায্যে উদ্ভাবন করলেন **ক্ষেত্র** বা *চৌম্বক বলরেখার* ধারণা। ১৮৩১ সালে ফ্যারাডে আবিষ্কার করেন তড়িৎ-চৌম্বকীয় আবেশ: একটি পরিবর্তনশীল চৌম্বক ফ্লাক্স একটি বর্তনীতে তড়িৎচ্চালক বল সৃষ্টি করে ($mathcal E = -frac d Phi_B dt$)।

Shakil Mahmud • Research Monograph

ম্যাক্সওয়েলের গাণিতিক বিপ্লব: সরণ প্রবাহ

ফ্যারাডে দেখিয়েছিলেন পরিবর্তনশীল চৌম্বক ক্ষেত্র তড়িৎ ক্ষেত্র তৈরি করে। ম্যাক্সওয়েল যখন অ্যাম্পিয়ারের সূত্রে ডাইভারজেন্স প্রয়োগ করলেন, তখন তিনি একটি মৌলিক ত্রুটি লক্ষ্য করলেন। ডাইভারজেন্স অফ কার্ল সর্বদা শূন্য ($nablacdot(nablatimesmathbf{B})equiv0$); কিন্তু একটি ধারক (ক্যাপাসিটর) চার্জ হওয়ার সময় আধানের ধারাবাহিকতা সমীকরণ ($nablacdotmathbf{J}=-fracpartialrhopartialt$) অ্যাম্পিয়ারের মূল সূত্রের সাথে সাংঘর্ষিক হয়ে ওঠে।

ম্যাক্সওয়েল সাহসের সাথে সমীকরণে একটি নতুন পদ যোগ করলেন: **সরণ প্রবাহ** ($mathbf{J}_D=varepsilon_0fracpartialmathbf{E}partialt$)। এর মাধ্যমে প্রমাণিত হলো যে পরিবর্তনশীল তড়িৎ ক্ষেত্রও চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি করে—এক অভূতপূর্ব প্রতিসাম্য সৃষ্টি হলো প্রকৃতিতে।

ম্যাক্সওয়েলের চারটি সমীকরণ

অলিভার হেভিসাইড কর্তৃক আধুনিক ভেক্টর রূপে প্রকাশিত ম্যাক্সওয়েলের চারটি সমীকরণ হলো ক্লাসিক্যাল তড়িৎ-চৌম্বকবিদ্যার ভিত্তি:

$$nablacdotmathbf{E}=fracrhovarepsilon_0quadtext{(তড়িৎক্ষেত্রেগাউসেরসূত্র)}$$

$$nablacdotmathbf{B}=0quadtext{(চৌম্বকক্ষেত্রেগাউসেরসূত্র—চৌম্বকএককমেরুরঅনুপস্থিতি)}$$

$$nablatimesmathbf{E}=-fracpartialmathbf{B}partialtquadtext{(ফ্যারাডেরআবেশসূত্র)}$$

$$nablatimesmathbf{B}=mu_0mathbf{J}+mu_0varepsilon_0fracpartialmathbf{E}partialtquadtext{(অ্যাম্পিয়ার}-\text{ম্যাক্সওয়েলসূত্র)}$$

আলো: একটি তড়িৎ-চৌম্বকীয় তরঙ্গ

শূন্যস্থানে যেখানে কোনো আধান ($rho=0$) বা পরিবাহী প্রবাহ ($mathbf{J}=0$) নেই, সেখানে ফ্যারাডের সূত্রে কার্ল প্রয়োগ করে ম্যাক্সওয়েল ত্রিমাত্রিক তরঙ্গ সমীকরণ প্রতিপাদন করলেন:

$$nabla^2mathbf{E}=mu_0varepsilon_0fracpartial^2mathbf{E}partialt^2$$

এই সমীকরণ সরাসরি তরঙ্গ বেগ দেয় কেবল দুটি ধ্রুবকের অনুপাত থেকে:

$$c=frac1sqrtmu_0varepsilon_0approx৩.০times১০^৮text{মিটার/সেকেন্ড}$$

> *“আমরা এই সিদ্ধান্তে না পৌঁছে পারি না যে আলো প্রকৃতপক্ষে একই মাধ্যমের অনুপ্রস্থ স্পন্দন, যা তড়িৎ ও চৌম্বক ঘটনার কারণ।” — জেমস ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল, ১৮৬৫*

১৮৮৭ সালে হেনরিখ হার্টজ ল্যাবরেটরিতে কৃত্রিমভাবে রেডিও তরঙ্গ তৈরি ও শনাক্ত করে ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্বের অভ্রান্ততা প্রমাণ করেন। আলোকবিজ্ঞান চিরতরে তড়িৎ-চৌম্বকবিদ্যার অন্তর্ভুক্ত হলো।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "বলসমূহের মহা-ঐক্যবদ্ধকরণ — জেমস ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল এবং তড়িৎ-চৌম্বকীয় ক্ষেত্র"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ৫।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-05-unification-of-forces-maxwell-electromagnetism-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

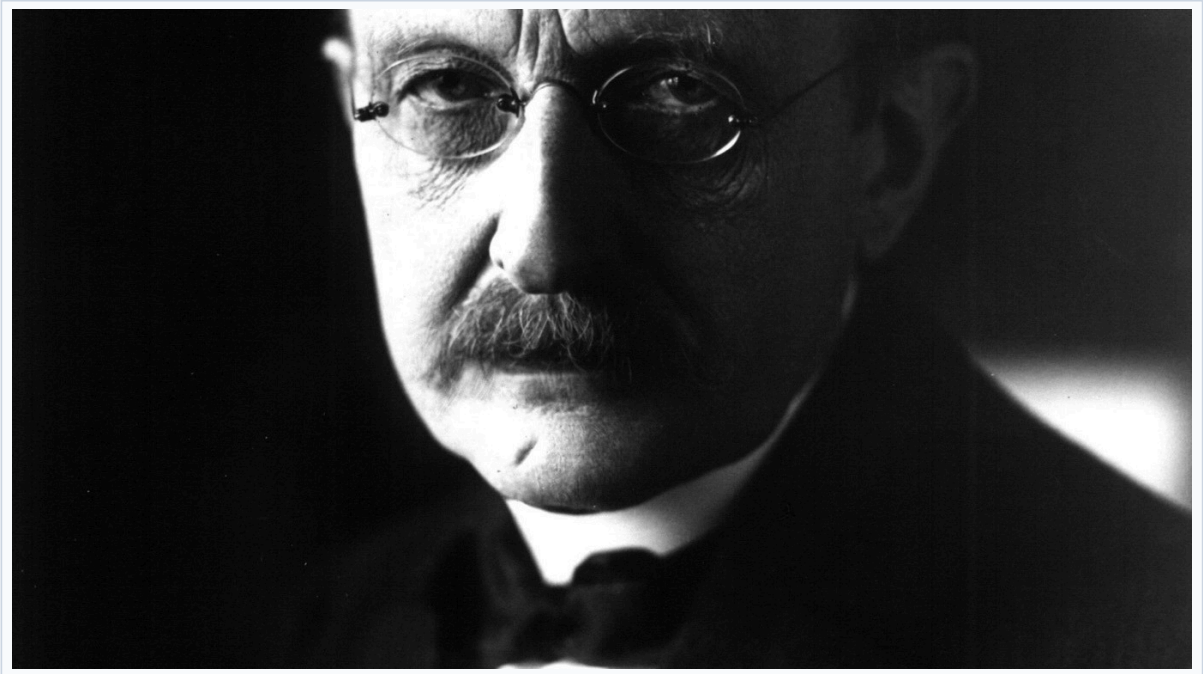
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ষষ্ঠ খণ্ড

অতিবেগুনী বিপর্যয় — ম্যাক্স প্লাঙ্ক এবং কোয়ান্টামের জন্ম

অতিবেগুনী বিপর্যয় — ম্যাক্স প্লাঙ্ক এবং কোয়ান্টামের জন্ম

489 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৬: *চিত্র: ম্যাক্স প্লাঙ্ক (১৮৫৮–১৯৪৭)—১৯০০ সালে কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণে অতিবেগুনি বিপর্যয় সমাধান করতে গিয়ে প্রস্তাব করেন যে শক্তি অবিচ্ছিন্ন নয়, বরং ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র কোয়ান্টাম এককে বিকিরিত হয় ($E = h\nu$)।*

উনবিংশ শতাব্দীর শেষভাগে পদার্থবিজ্ঞানীদের বিশ্বাস ছিল যে মহাবিশ্বের ভৌত কাঠামো প্রায় সম্পূর্ণ উন্মোচিত। নিউটনীয় বলবিদ্যা কণার গতি নিয়ন্ত্রণ করে, ম্যাক্সওয়েলীয় তড়িৎ-চৌম্বকবিদ্যা ক্ষেত্র ব্যাখ্যা করে, আর তাপগতিবিদ্যা শক্তির রূপান্তর পরিচালনা করে। লর্ড কেলভিন ১৯০০ সালে মন্তব্য করেছিলেন যে পদার্থবিজ্ঞানের আকাশে কেবল ‘দুটি ছোট মেঘ’ ছাড়া আর কোনো মৌলিক রহস্য বাকি নেই। সেই মেঘগুলোর মধ্যে সবচেয়ে অন্ধকারটি ছিল কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ—যা ক্লাসিক্যাল পদার্থবিজ্ঞানকে ভেঙে গুঁড়িয়ে জন্ম দেয় কোয়ান্টাম বিপ্লবের।

কৃষ্ণবস্তুর ধাঁধা ও বার্লিনের ল্যাবরেটরি

একটি কৃষ্ণবস্তু (Blackbody) হলো এমন একটি আদর্শ বস্তু যা তার ওপর পতিত সমস্ত তড়িৎ-চৌম্বকীয় বিকিরণ শোষণ করে। যখন একে T তাপমাত্রায় সুষম সাম্যাবস্থায় রাখা হয়, তখন এটি একটি নির্দিষ্ট বর্ণালীতে তাপীয় বিকিরণ নির্গমন করে, যা উপাদানের প্রকৃতির ওপর নয়, কেবল তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে।

জার্মানির বার্লিনে হাইনরিখ রুবেন্স ও অটো লুমারের অতি সূক্ষ্ম পরীক্ষামূলক ফলাফলে দেখা গেল এক মসৃণ ঘণ্টা-আকৃতির বক্ররেখা: নিম্ন কম্পাঙ্কে নির্গমন কম, মাঝে ভিনের সূত্রের ($lambda_{textmax} T = b$) নিয়মে একটি শীর্ষবিন্দুতে পৌঁছায়, এবং উচ্চ কম্পাঙ্কে তা ধীরে ধীরে শূন্যে নেমে আসে।

রেলে-জিন্স বিপর্যয়: অতিবেগুনী সংকট

লর্ড রেলে এবং স্যার জেমস জিন্স ক্লাসিক্যাল তাপগতিবিদ্যার ‘শক্তির সমবিভাজন নীতি’ প্রয়োগ করে কৃষ্ণবস্তুর গহ্বরে দাঁড়িয়ে থাকা তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গের শক্তি হিসাব করলেন। ক্লাসিক্যাল নিয়ম অনুযায়ী প্রতিটি কম্পাঙ্কের তরঙ্গের গড় শক্তি ছিল সমপরিমাণ:

$$langle E rangle = k_B T$$

কিন্তু গহ্বরের ভেতরের মোডের সংখ্যা কম্পাঙ্কের বর্গের সাথে বাড়ে ($proptonu^2$)। ফলে অতিবেগুনী বা উচ্চ কম্পাঙ্কের দিকে মোট বিকিরণ শক্তি অসীমের দিকে ধাবিত হয়:

$$u(nu)dnu = frac8pinu^2c^3k_BTdnuimpliesint_0^infty u(nu)dnu = infty$$

এই অসম্ভব ফলাফলকে পল এরেনফেস্ট নাম দিলেন **অতিবেগুনী বিপর্যয় (Ultraviolet Catastrophe)**। এর মানে দাঁড়ায়, ঘরের সাধারণ ওভেনের ঢাকনা খুললেই তীব্র গামা ও অতিবেগুনী রশ্মির অসীম বিস্ফোরণে পুরো পৃথিবী ধ্বংস হয়ে যাওয়ার কথা! ক্লাসিক্যাল তত্ত্ব এক চরম অচলাবস্থায় পৌঁছাল।

প্লাঙ্কের ‘হতাশার পদক্ষেপ’: শক্তির কোয়ান্টায়ন

ম্যাক্স প্লাঙ্ক ছিলেন তাপগতিবিদ্যার কট্টর সমর্থক। ১৯০০ সালের ১৯ অক্টোবর সন্ধ্যায় তিনি জার্মান ফিজিক্যাল সোসাইটিতে একটি গাণিতিক ইন্টারপোলেশন সূত্র উপস্থাপন করেন, যা পরীক্ষাগারের ডেটার সাথে হুবহু মিলে যায়।

কিন্তু এই সূত্রের অন্তর্নিহিত ভৌত অর্থ কী? পরবর্তী দুই মাস দিনরাত খেটে প্লাঙ্ক এক অভাবনীয় অনুমান করতে বাধ্য হলেন, যা তিনি পরবর্তীতে বলেছিলেন “হতাশার এক পদক্ষেপ”। তিনি স্বীকার করলেন যে গহ্বরের প্রাচীরের পরমাণুগুলো অবিচ্ছিন্নভাবে শক্তি শোষণ বা নির্গমন করতে পারে না; বরং শক্তি আদান-প্রদান ঘটে ক্ষুদ্র, অবিভাজ্য প্যাকেটে—যাকে তিনি নাম দেন **কোয়ান্টাম (Quantum)**:

$$E = nhnu, quadnin0, 1, 2, 3, dots$$

এখানে nu হলো তরঙ্গের কম্পাঙ্ক এবং h হলো প্রকৃতির এক নতুন মৌলিক ধ্রুবক—**প্লাঙ্কের ধ্রুবক (Planck’s constant)**:

$$happrox৬.৬২৬০৭০১৫times১০^-৩৪textজুলcdottextসেকেন্ড$$

প্লাঙ্কের বিকিরণ সূত্র ও নতুন মহাবিশ্ব

শক্তি বিচ্ছিন্ন প্যাকেট হওয়ায় বোল্টজম্যান পরিসংখ্যান অনুযায়ী উচ্চ কম্পাঙ্কের মোডগুলোর জন্য শক্তির চাহিদা এত বেড়ে যায় যে তারা সূচকীয়ভাবে নিভে যায় ($e^-frachnuk_BT$)। ফলে অতিবেগুনী বিপর্যয় মিটে গিয়ে জন্ম নেয় প্রকৃতির সঠিক বিকিরণ সূত্র:

B_lambda(T) = frac{2hc^2}{lambda^5} frac{1}{e^{frac{hc}{lambda k_B T}} – 1}

প্লাঙ্ক শুরুতে ভেবেছিলেন এটি হয়তো কেবল একটি গাণিতিক কৌশল। কিন্তু ১৯০৫ সালে বার্নের পেটেন্ট অফিসের এক তরুণ কেরানী আলবার্ট আইনস্টাইন এই কোয়ান্টাম তত্ত্বকে বাস্তব রূপ দিয়ে আলোকের ফোটন কণা ব্যাখ্যা করলেন। ক্লাসিক্যাল প্রকৃতির নিরবচ্ছিন্নতার স্বপ্ন চিরতরে ধূলিসাৎ হলো—শুরু হলো আধুনিক কোয়ান্টাম পদার্থবিজ্ঞানের স্বর্ণযুগ।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "অতিবেগুনী বিপর্যয় — ম্যাক্স প্লাঙ্ক এবং কোয়ান্টামের জন্ম"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ৬। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-06-ultraviolet-catastrophe-planck-quantum-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

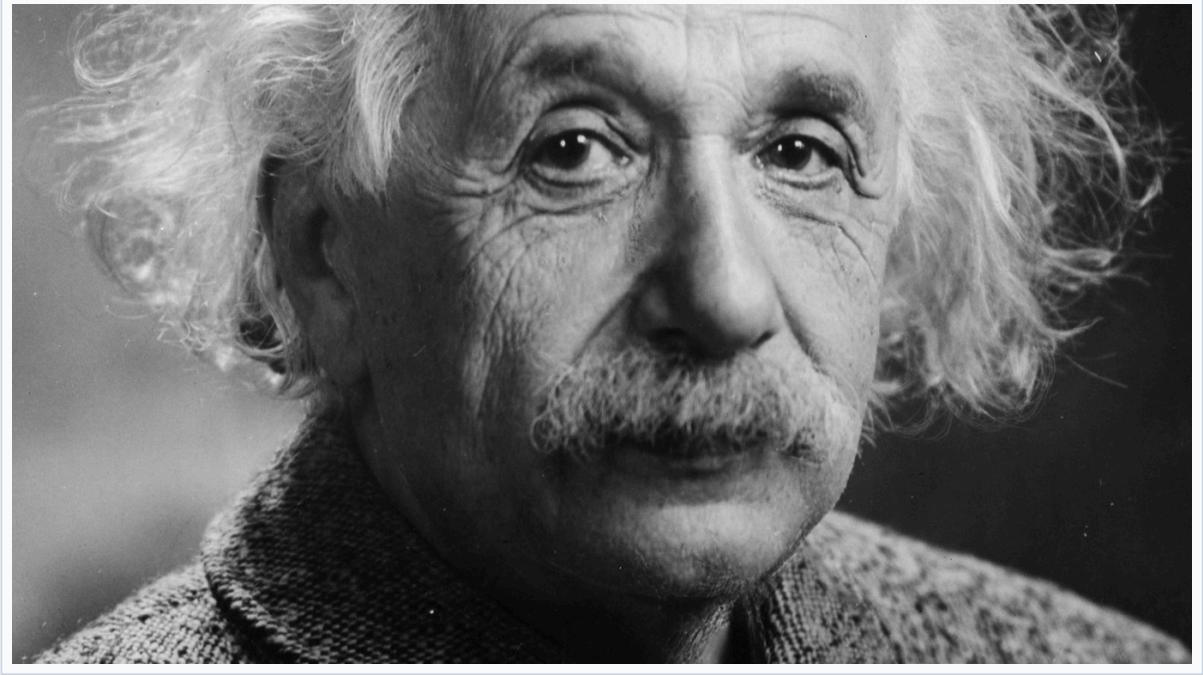
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • সপ্তম খণ্ড

স্থান-কালের মহাবুনন — আলবার্ট আইনস্টাইন এবং বিশেষ আপেক্ষিকতা

স্থান-কালের মহাবুনন — আলবার্ট আইনস্টাইন এবং বিশেষ আপেক্ষিকতা

633 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৭: *চিত্র: আলবার্ট আইনস্টাইন (১৮৭৯–১৯৫৫)—১৯০৫ সালে নিউটনীয় পরম কালের ধারণার ইতি ঘটিয়ে বিশেষ আপেক্ষিকতা তত্ত্ব প্রতিষ্ঠা করেন, যা স্থান ও কালকে একীভূত করে ভর-শক্তি রূপান্তর সমীকরণ $E = mc^2$ উপহার দেয়।*

১৯০৫ সাল—পদার্থবিজ্ঞানের ইতিহাসে যা *Annus Mirabilis* বা ‘অলৌকিক বছর’ হিসেবে অমর। সুইজারল্যান্ডের বার্ন শহরের পেটেন্ট অফিসের ছাব্বিশ বছর বয়সী তৃতীয় শ্রেণীর কেরানী আলবার্ট আইনস্টাইন সে বছর এমন চারটি গবেষণাপত্র প্রকাশ করেন যা আধুনিক বিজ্ঞানের ভিত্তি চিরতরে বদলে দেয়। এর মধ্যে জুন মাসে প্রকাশিত *“অন দ্য ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক্স অব মুভিং বডিস”* ধ্বংস করে দেয় আইজ্যাক নিউটনের তিনশত বছরের পরম স্থান এবং পরম সময়ের অবিচল ভিত্তিপ্রস্তর।

আলোকবাহী ইথারের সংকট ও মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষা

ম্যাক্সওয়েলের সূত্রে দেখা গিয়েছিল আলো শূন্যস্থানে নির্দিষ্ট গতিতে (c) চলে। কিন্তু গ্যালিলিওর আপেক্ষিকতার নিয়মে যেকোনো গতিকে কোনো মাধ্যমের সাপেক্ষে পরিমাপ করতে হয়। বিজ্ঞানীরা ধরে নিয়েছিলেন মহাবিশ্বজুড়ে এক অদৃশ্য, সর্বব্যাপী মাধ্যম ছড়িয়ে রয়েছে—**লুমিনিফেরাস ইথার (Luminiferous Aether)**।

যদি পৃথিবী সূর্যের চারপাশে ৩০ কিমি/সেকেন্ড গতিতে এই ইথার সাগরে ঘোরে, তবে ‘ইথার বায়ুর’ কারণে আলোর গতি বিভিন্ন দিকে ভিন্ন হওয়ার কথা। ১৮৮৭ সালে অ্যালবার্ট মাইকেলসন ও এডওয়ার্ড মোরলে ওহাইওতে পৃথিবীর সবচেয়ে সংবেদনশীল ইন্টারফেরোমিটার তৈরি করে আলোর গতি মাপলেন।

ফলাফল এলো এক ঐতিহাসিক শূন্য (Null Result): আলোর গতি সব দিকে, সব ঋতুতে এবং সমস্ত রেফারেন্স ফ্রেমে অবিকল সমান! কোনো ইথার বায়ুর অস্তিত্ব পাওয়া গেল না।

আইনস্টাইনের দুটি মৌলিক স্বতঃসিদ্ধ

যেখানে অন্যান্য বিজ্ঞানীরা জটিল কৃত্রিম উপায়ে ইথারের অস্তিত্ব টিকিয়ে রাখতে চাচ্ছিলেন, আইনস্টাইন সেখানে এক বৈপ্লবিক মানসিক উল্লম্ফন ঘটালেন: তিনি ইথারের ধারণাকে পুরোপুরি বর্জন করলেন এবং দুটি সহজ সত্যকে প্রকৃতির নীতি হিসেবে ঘোষণা করলেন:

- **কালের দীর্ঘায়ন (Time Dilation):** গতিশীল ঘড়ি ধীরে চলে: $Deltat = gammaDeltat_0$।
- **দৈর্ঘ্য সংকোচন (Length Contraction):** গতির অভিমুখে চলমান বস্তুর দৈর্ঘ্য সংকুচিত হয়: $L = fracL_0gamma$।
- **মহাজাগতিক গতির সীমা:** কোনো সংকেত বা ভরযুক্ত কণা কখনো আলোর গতি c-কে অতিক্রম করতে পারে না।

মিনকভস্কির চতুর্মাত্রিক জগৎ এবং E = mc²

১৯০৮ সালে হেরমান মিনকভস্কি স্থান এবং সময়কে এক অবিচ্ছেদ্য চতুর্মাত্রিক কাঠামোতে যুক্ত করলেন—**স্থান-কাল (Spacetime)**:

> *“আজ থেকে দেশ নিজেই এবং কাল নিজেই বিলীন হয়ে শুধুই ছায়ায় পরিণত হলো; কেবল তাদের একটি মিলনই স্বাধীন সত্য বজায় রাখবে।” — হেরমান মিনকভস্কি, ১৯০৮*

১৯০৫ সালের সেপ্টেম্বর মাসে আইনস্টাইন প্রমাণ করলেন ভর ও শক্তি আসলে একই মুদ্রার এপিঠ-ওপিঠ। শক্তি নির্গত হলে বস্তুর ভর কমে যায়। এই সমীকরণের সার্বজনীন রূপই হলো মানবজাতির ইতিহাসের সবচেয়ে বিখ্যাত সমীকরণ:

$$E = mc^2$$

যেহেতু আলোর বেগ $c^2approx৯times১০^{১৬}$ মিটার²/সেকেন্ড², তাই মাত্র এক গ্রাম ভরের ভেতর লুকিয়ে আছে প্রায় ৯০ টেরাজুল শক্তি! নক্ষত্রের বুক চিরে জ্বলে ওঠা এই পারমাণবিক শক্তিই পুরো মহাবিশ্বকে প্রাণবন্ত করে রেখেছে।

1. **আপেক্ষিকতার নীতি:** সমস্ত জড় কাঠামোর (Inertial Frames) পর্যবেক্ষকদের কাছে পদার্থবিজ্ঞানের মৌলিক সূত্রগুলো অভিন্ন থাকবে।
2. **আলোর গতির ধ্রুবতা:** শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ (c) সর্বাবস্থায় নির্দিষ্ট—উৎস বা পর্যবেক্ষকের গতির ওপর তা বিন্দুমাত্র নির্ভরশীল নয়।

লরেন্টজ রূপান্তর ও যুগপৎ ঘটনার অবসান

এই দুটি নীতি মেনে নিতে হলে গ্যালিলীয় রূপান্তর বদলে দিয়ে গ্রহণ করতে হয় **লরেন্টজ রূপান্তর**:

x’ = gamma (x – vt), quad t’ = gamma left(t – frac{vx}{c^2} right)

যেখানে লরেন্টজ ফ্যাক্টর $gamma$ নির্ধারিত হয়:

gamma = frac{1}{sqrt{1 – frac{v^2}{c^2}}}

এর ফলে নিউটনের পরম সময় ধূলিসাৎ হলো: **যুগপৎ ঘটনা কোনো পরম সত্য নয়**। একজনের কাছে যা একই সময়ে ঘটে, গতিশীল অন্য পর্যবেক্ষকের কাছে তা ঘটে ভিন্ন সময়ে। এছাড়াও:

- **কালের দীর্ঘায়ন (Time Dilation):** গতিশীল ঘড়ি ধীরে চলে: $Deltat = gammaDeltat_0$।
- **দৈর্ঘ্য সংকোচন (Length Contraction):** গতির অভিমুখে চলমান বস্তুর দৈর্ঘ্য সংকুচিত হয়: $L = fracL_0gamma$।
- **মহাজাগতিক গতির সীমা:** কোনো সংকেত বা ভরযুক্ত কণা কখনো আলোর গতি c-কে অতিক্রম করতে পারে না।

মিনকভস্কির চতুর্মাত্রিক জগৎ এবং E = mc²

১৯০৮ সালে হেরমান মিনকভস্কি স্থান এবং সময়কে এক অবিচ্ছেদ্য চতুর্মাত্রিক কাঠামোতে যুক্ত করলেন—**স্থান-কাল (Spacetime)**:

Shakil Mahmud • Research Monograph

> *“আজ থেকে দেশ নিজেই এবং কাল নিজেই বিলীন হয়ে শুধুই ছায়ায় পরিণত হলো; কেবল তাদের একটি মিলনই স্বাধীন সত্য বজায় রাখবে।” — হেরমান মিনকভস্কি, ১৯০৮*

১৯০৫ সালের সেপ্টেম্বর মাসে আইনস্টাইন প্রমাণ করলেন ভর ও শক্তি আসলে একই মুদ্রার এপিঠ-ওপিঠ। শক্তি নির্গত হলে বস্তুর ভর কমে যায়। এই সমীকরণের সার্বজনীন রূপই হলো মানবজাতির ইতিহাসের সবচেয়ে বিখ্যাত সমীকরণ:

$$E = mc^2$$

যেহেতু আলোর বেগ $c^2 approx ৯ times ১০^{১৬}$ মিটার²/সেকেন্ড², তাই মাত্র এক গ্রাম ভরের ভেতর লুকিয়ে আছে প্রায় ৯০ টেরাজুল শক্তি! নক্ষত্রের বুক চিরে জ্বলে ওঠা এই পারমাণবিক শক্তিই পুরো মহাবিশ্বকে প্রাণবন্ত করে রেখেছে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "স্থান-কালের মহাবুনন — আলবার্ট আইনস্টাইন এবং বিশেষ আপেক্ষিকতা"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ৭।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-07-fabric-of-spacetime-einstein-special-relativity-bn/

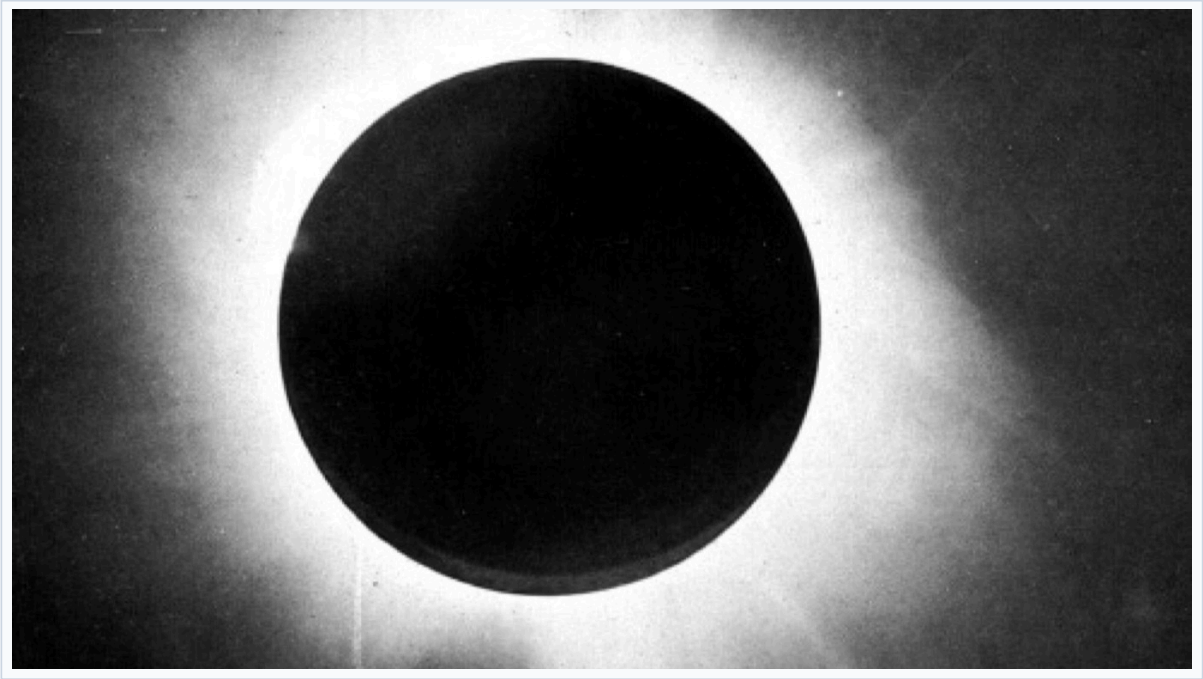
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • অষ্টম খণ্ড

মহাকর্ষের জ্যামিতি — সাধারণ আপেক্ষিকতা এবং মহাবিশ্বের বক্রতা

মহাকর্ষের জ্যামিতি — সাধারণ আপেক্ষিকতা এবং মহাবিশ্বের বক্রতা

444 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৮: *চিত্র: ১৯১৯ সালের ২৯ মে আর্থার এডিংটনের প্রিন্সিপে দ্বীপের ঐতিহাসিক সূর্যগ্রহণের ফটোগ্রাফিক প্লেট—যা প্রথমবারের মতো প্রমাণ করে যে সূর্যের মহাকর্ষ ক্ষেত্র স্থান-কালকে বাঁকিয়ে নক্ষত্রের আলোকে বিচ্যুত করে।*

বিশেষ আপেক্ষিকতা তড়িৎ-চৌম্বকবিদ্যার সাথে বলবিদ্যাকে সুসংহত করলেও তাতে একটি মারাত্মক সীমাবদ্ধতা ছিল: এটি কেবল ত্বরণহীন জড় কাঠামোর জন্য কার্যকর ছিল এবং এটি নিউটনের সার্বজনীন মহাকর্ষ সূত্রের সাথে সাংঘর্ষিক ছিল (যেখানে মহাকর্ষকে অসীম দূরত্বে তাৎক্ষণিক ক্রিয়াশীল বল মনে করা হতো)। ১৯০৫ থেকে ১৯১৫—দীর্ঘ দশ বছরের অবিরাম তাত্ত্বিক সংগ্রামের পর আলবার্ট আইনস্টাইন মহাকর্ষকে স্থান-কালের জ্যামিতিতে রূপান্তর করেন এবং জন্ম নেয় সাধারণ আপেক্ষিকতা তত্ত্ব।

জীবনের সবচেয়ে সুখকর ভাবনা: সমতুল্যতার নীতি

১৯০৭ সালের এক সকালে পেটেন্ট অফিসে বসে আইনস্টাইন এক যুগান্তকারী চিন্তায় নিমগ্ন হন, যাকে তিনি পরবর্তীকালে বলেছিলেন তাঁর "জীবনের সবচেয়ে সুখকর ভাবনা":

> *"যদি কোনো ব্যক্তি মুক্তভাবে নিচে পতিত হয়, তবে সে নিজের ওজন অনুভব করবে না। সে নিজেকে মহাকর্ষহীন একটি শান্ত অঞ্চলে অনুভব করবে।"*
> *— আলবার্ট আইনস্টাইন*

এই উপলব্ধি জন্ম দিল **সমতুল্যতার নীতি (Equivalence Principle)**: স্থানীয়ভাবে মহাকর্ষের প্রভাব এবং একটি রকেটের ত্বরণের প্রভাবের মধ্যে কোনো পরীক্ষামূলক পার্থক্য নেই। জড় ভর (m_i) এবং মহাকর্ষীয় ভর (m_g) প্রকৃতির মৌলিক স্তরে হুবহু এক।

এই কাল্পনিক পরীক্ষা থেকেই আইনস্টাইন বুঝলেন যে মহাকর্ষের কারণে আলোকেও বেঁকে যেতে হবে: একটি ত্বরান্বিত লিফটের ভেতর দিয়ে যাওয়া আলোক রশ্মি মেঝের দিকে প্যারাবলিক পথে বেঁকে যায়। সুতরাং মহাকর্ষ আলোর গতিপথকে বাঁকিয়ে দেয়।

Shakil Mahmud • Research Monograph

অ-ইউক্লিডীয় জ্যামিতি ও ফিল্ড সমীকরণ

স্থান ও সময় যদি ভর দ্বারা দুমড়ে-মুচড়ে যায়, তবে ইউক্লিডের সাধারণ সমতল জ্যামিতি সেখানে অচল। গণিতবিদ বন্ধু মার্সেল গ্রসম্যানের সহায়তায় আইনস্টাইন দ্বারস্থ হলেন বের্নহার্ড রিম্যান ও কার্ল ফ্রিডরিখ গাউসের তৈরি করা অ-ইউক্লিডীয় বক্র জ্যামিতির।

মহাজাগতিক স্থান-কাল হলো একটি চার-মাত্রিক রিম্যানীয় ম্যানিফোল্ড। ১৯১৫ সালের ২৫ নভেম্বর প্রুশিয়ান একাডেমি অব সায়েন্সেসে আইনস্টাইন তাঁর চূড়ান্ত **ফিল্ড সমীকরণ (Einstein Field Equations)** উপস্থাপন করলেন:

$$G_{munu} + Lambdag_{munu} = frac8piGc^4T_{munu}$$

যেখানে G_{munu} হলো স্থান-কালের জ্যামিতিক বক্রতা নির্দেশক আইনস্টাইন টেনসর, আর T_{munu} হলো মহাবিশ্বের ভর, শক্তি ও ভরবেগের বিন্যাস নির্দেশক এনার্জি-মোমেন্টাম টেনসর।

বিখ্যাত পদার্থবিজ্ঞানী জন আর্কিবাল্ড হুইলার এই সমীকরণের অন্তর্নিহিত রূপ ব্যাখ্যা করেছেন এক অমর বাক্যে: *“স্থান-কাল পদার্থকে বলে কীভাবে চলতে হবে; আর পদার্থ স্থান-কালকে বলে কীভাবে বেঁকে যেতে হবে।”*

বুধ গ্রহের অসংগতি এবং ১৯১৯ সালের সূর্যগ্রহণ

দশকের পর দশক ধরে জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা বুধ গ্রহের কক্ষপথের অনুসূর বিন্দুর (Perihelion) এক অদ্ভুত চলন নিয়ে বিভ্রান্ত ছিলেন—প্রতি শতাব্দীতে ৪৩ আর্কসেকেন্ডের যে বিচ্যুতির ব্যাখ্যা নিউটনের মহাকর্ষ তত্ত্ব দিয়ে মেলানো যাচ্ছিল না। আইনস্টাইন তাঁর সমীকরণে বুধের কক্ষপথ বসাতেই কোনো বাড়তি অনুমিতি ছাড়াই কাঁটায় কাঁটায় সেই ৪৩ আর্কসেকেন্ডের উত্তর বেরিয়ে এলো।

আর চূড়ান্ত প্রমাণ এলো ১৯১৯ সালের ২৯ মে পূর্ণ সূর্যগ্রহণে। ব্রিটিশ জ্যোতির্বিজ্ঞানী স্যার আর্থার এডিংটন পশ্চিম আফ্রিকার প্রিন্সিপে দ্বীপে গিয়ে সূর্যের পাশ দিয়ে আসা তারার আলোর বিচ্যুতি ক্যামেরাবন্দি করলেন। আইনস্টাইনের তত্ত্ব অনুযায়ী আলো বাঁকার কোণ হওয়ার কথা ছিল:

$$theta = frac4GMc^2Rapproxএকদশমিকপাঁচসাতtextআর্কসেকেন্ড$$

এডিংটনের ছবিগুলো আইনস্টাইনের পূর্বাভাসকে সত্য প্রমাণ করল। ৭ নভেম্বর ১৯১৯ লন্ডনের *দ্য টাইমস* শিরোনাম করল: *“বিজ্ঞানে মহাবিপ্লব — মহাবিশ্বের নতুন তত্ত্ব — নিউটনের ধারণার পতন।”* আইনস্টাইন বিশ্বজোড়া কিংবদন্তিতে পরিণত হলেন, আর মহাবিশ্ব নিজেকে মেলে ধরল এক গতিশীল জ্যামিতিক ক্যানভাস হিসেবে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "মহাকর্ষের জ্যামিতি — সাধারণ আপেক্ষিকতা এবং মহাবিশ্বের বক্রতা"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ৮।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-08-geometry-of-gravity-general-relativity-curved-spacetime-bn/

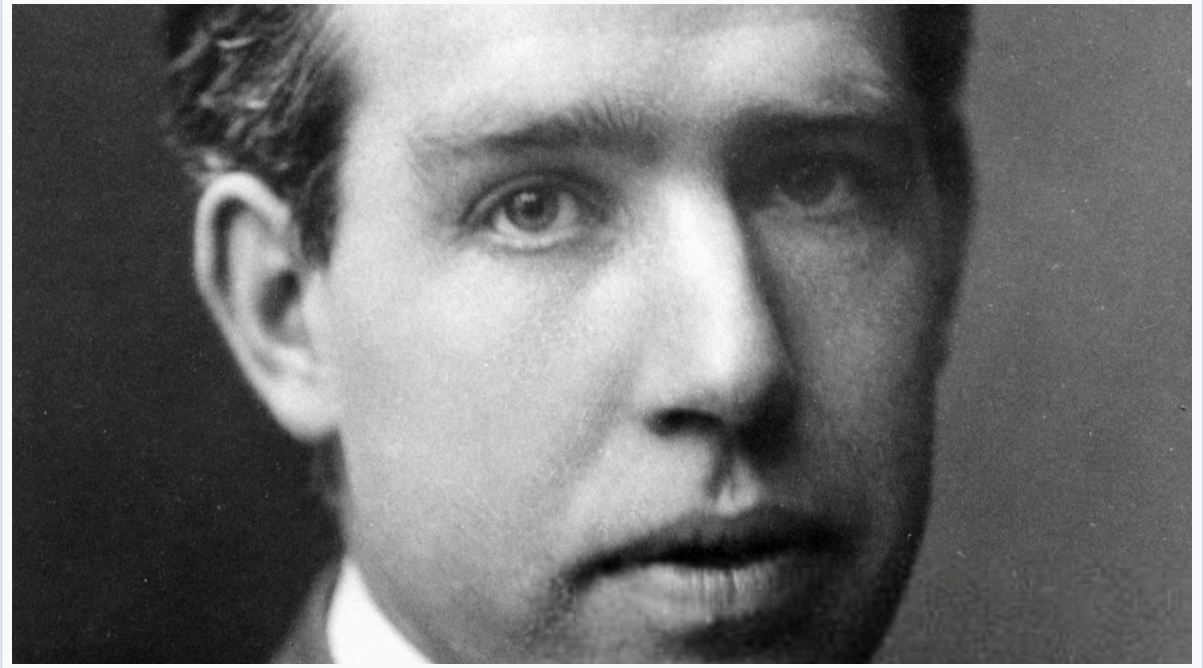
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • নবম খণ্ড

কোয়ান্টাম উল্লম্ফন — নিলস বোর এবং পরমাণুর গঠন

কোয়ান্টাম উল্লম্ফন — নিলস বোর এবং পরমাণুর গঠন

433 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৯: *চিত্র: নিলস বোর (১৮৮৫–১৯৬২)—ডেনিশ পদার্থবিজ্ঞানী যিনি ১৯১৩ সালে হাইড্রোজেন পরমাণুর কোয়ান্টাম মডেল প্রস্তাব করেন, যেখানে নির্দিষ্ট শক্তির স্তরে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের শক্তি স্থানান্তরের মাধ্যমে বর্ণালীর ব্যাখ্যা মেলে।*

১৯১১ সালে আর্নেস্ট রাদারফোর্ডের পরমাণু নিউক্লিয়াস আবিষ্কারের পর ক্লাসিক্যাল পদার্থবিজ্ঞান এক চরম সংকটে পড়ল: ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ-চৌম্বকীয় তত্ত্ব অনুযায়ী ধনাত্মক নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে ঘূর্ণায়মান ত্বরান্বিত ইলেকট্রন নিরবচ্ছিন্ন শক্তি বিকিরণ করবে এবং এক পিকোসেকেন্ডেরও কম সময়ে সর্পিলাকারে নিউক্লিয়াসে পতিত হয়ে নিশ্চিহ্ন হয়ে যাবে! মহাবিশ্বের কোনো বস্তুরই টিকে থাকার কথা ছিল না। ১৯১৩ সালে সাতাশ বছর বয়সী ড্যানিশ পদার্থবিজ্ঞানী নিলস বোর কোয়ান্টাম কক্ষপথের ধারণার মাধ্যমে এই বৈজ্ঞানিক অচলাবস্থার অবসান ঘটান।

গ্রহীয় মডেলের প্যারাডক্স ও রাদারফোর্ডের আবিষ্কার

রাদারফোর্ডের আলফা কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষায় প্রমাণিত হয়েছিল যে পরমাণুর প্রায় সমস্ত ভর ও ধনাত্মক চার্জ একটি অতি ক্ষুদ্র কেন্দ্রে পুঞ্জীভূত—যাকে বলে নিউক্লিয়াস ($rsim১০^{-১৫}$ মিটার), আর তাকে ঘিরে আবর্তন করছে ইলেকট্রনের মেঘ ($rsim১০^{-১০}$ মিটার)। কিন্তু লারমরের ক্লাসিক্যাল সূত্র অনুযায়ী ত্বরান্বিত আধানের শক্তি ক্ষয়ের হার:

$$P = fracq^2a^26pivarepsilon_0c^3$$

এর ফলে হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন মাত্র $১.৬times১০^{-১১}$ সেকেন্ডে প্রোটনে আছড়ে পড়ার কথা। কিন্তু বাস্তবে পরমাণু অত্যন্ত স্থিতিশীল এবং হাইড্রোজেন গ্যাসকে উত্তপ্ত করলে তা কোনো রংধনু নয়, বরং নির্দিষ্ট বিচ্ছিন্ন বর্ণালী রেখা (বামার সিরিজ) নির্গমন করে।

Shakil Mahmud • Research Monograph

বোরের তিনটি বিপ্লবী স্বতঃসিদ্ধ

১৯১৩ সালে *ফিলসফিক্যাল ম্যাগাজিন*-এ প্রকাশিত গবেষণাপত্রে বোর রাদারফোর্ডের নিউক্লিয়ার কাঠামোর সাথে প্লাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব যুক্ত করে তিনটি মৌলিক স্বীকার্য ঘোষণা করলেন:

1. **স্থিতিশীল কক্ষপথ:** ইলেকট্রন পরমাণুর ভেতরে কেবল নির্দিষ্ট কিছু অবিকিরণশীল বৃত্তাকার কক্ষপথে অবস্থান করে, যেখানে ক্লাসিক্যাল বিকিরণের নিয়ম প্রযোজ্য নয়।
2. **কৌণিক ভরবেগের কোয়ান্টায়ন:** ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ L প্লাঙ্কের হ্রাসকৃত ধ্রুবক $hbar = frach2pi$-এর পূর্ণসংখ্যার গুণিতক:

$$L = m_e v r = n hbar = frac{nh}{2pi}, quad n in ১, ২, ৩, dots$$

3. **কোয়ান্টাম উল্লম্ফন (Quantum Jumps):** ইলেকট্রন এক অনুমোদিত কক্ষপথ থেকে অন্য কক্ষপথে লাফিয়ে পড়ার সময়ই কেবল নির্দিষ্ট শক্তির ফোটন শোষণ বা বিকিরণ করে:

$$Delta E = E_2 – E_1 = h nu$$

বোর ব্যাসার্ধ ও পরমাণুর শক্তিস্তর

কুলম্বের স্থির তড়িৎ আকর্ষণ বল এবং কেন্দ্রাতিগ বলের ভারসাম্য রক্ষা করে কৌণিক ভরবেগের কোয়ান্টায়ন শর্ত বসিয়ে বোর প্রতিটি কক্ষপথের ব্যাসার্ধের সূত্র প্রতিপাদন করলেন:

$$r_n = frac{4pi varepsilon_0 hbar^2}{m_e e^2} n^2 = a_0 n^2$$

প্রথম কক্ষপথের ($n = 1$) জন্য এই ব্যাসার্ধ হলো বিখ্যাত **বোর ব্যাসার্ধ (Bohr radius)**:

$$a_0 approx ০.৫২৯ text{অ্যাংস্ট্রম} = ০.৫২৯ times ১০^{-১০} text{মিটার}$$

এবং ইলেকট্রনের মোট শক্তির স্তর নির্ধারিত হয়:

$$E_n = -frac{m_e e^4}{32pi^2 varepsilon_0^2 hbar^2} frac{1}{n^2} = -frac{১৩.৬ text{eV}}{n^2}$$

রিডবার্গ সূত্র ও বোর মডেলের ঐতিহাসিক বিজয়

দুই স্তরের শক্তির পার্থক্যের মাধ্যমে বোর বের করলেন বর্ণালী রেখার নির্ভুল গাণিতিক প্রতিপাদন, যা অভিজ্ঞতালব্ধ রিডবার্গ সূত্রের সাথে নিখুঁতভাবে মিলে গেল:

$$frac{1}{lambda} = R_infty left(frac{1}{n_1^2} – frac{1}{n_2^2} right), quad R_infty = frac{m_e e^4}{8 varepsilon_0^2 h^3 c} approx ১.০৯৭ times ১০^৭ text{ মিটার}^{-১}$$

আইনস্টাইন এই আবিষ্কার শুনে মন্তব্য করেছিলেন, “এটি বিজ্ঞানের অন্যতম সেরা আবিষ্কার।” বোরের এই সাফল্য কোয়ান্টাম বলবিদ্যার জন্ম দিল এবং কোপেনহেগেনকে পরিণত করল পৃথিবীর তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞানের প্রধান তীর্থক্ষেত্রে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "কোয়ান্টাম উল্লম্ফন — নিলস বোর এবং পরমাণুর গঠন"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ৯। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-09-quantum-leap-niels-bohr-architecture-of-atom-bn/

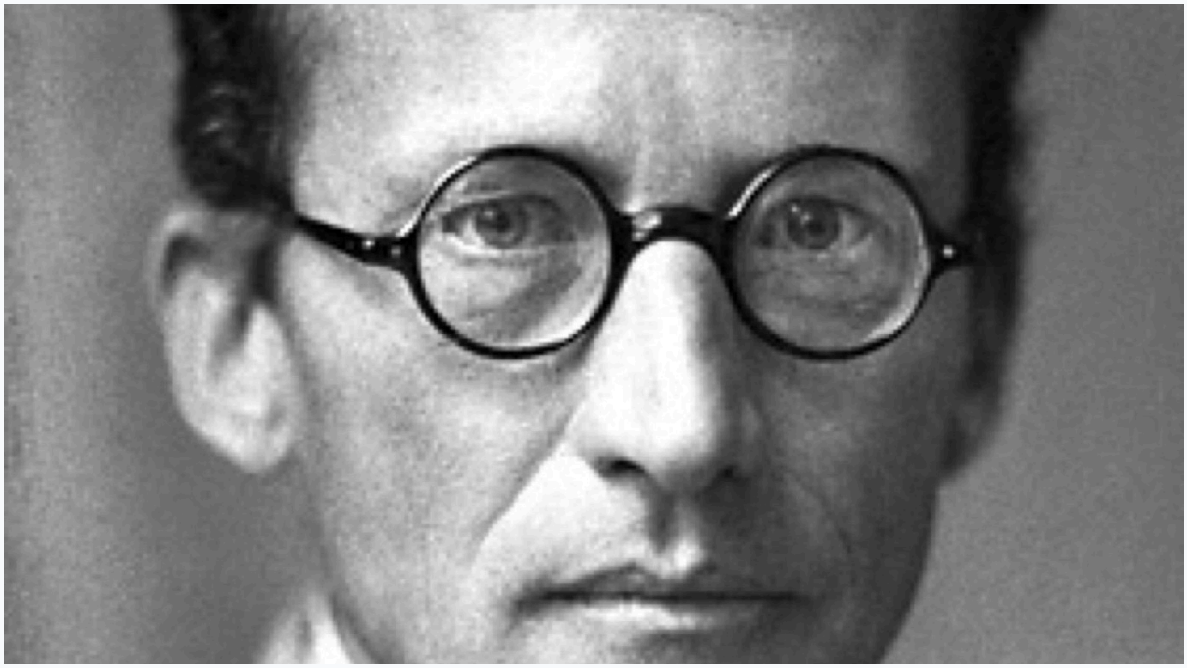
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দশম খণ্ড

পদার্থের তরঙ্গ ও সম্ভাবনার কুয়াশা — লুই দ্য ব্রয়, এরউইন শ্রোডিঙ্গার এবং ভের্নার হাইজেনবার্গ

পদার্থের তরঙ্গ ও সম্ভাবনার কুয়াশা — লুই দ্য ব্রয়, এরউইন শ্রোডিঙ্গার এবং ভের্নার হাইজেনবার্গ

392 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১০: *চিত্র: আরউইন শ্রোডিঙ্গার (১৮৮৭–১৯৬১)—অস্ট্রীয় পদার্থবিজ্ঞানী যিনি ১৯২৬ সালে বিখ্যাত শ্রোডিঙ্গার সমীকরণ আবিষ্কারের মাধ্যমে কোয়ান্টাম কণিকাকে সম্ভাব্যতার তরঙ্গ অপেক্ষক (psi) হিসেবে উপস্থাপন করেন।*

১৯২০-এর দশকের মাঝামাঝি এসে পদার্থবিজ্ঞান এক অদ্ভুত দ্বন্দ্বে পড়েছিল: বোরের কোয়ান্টাম মডেল কাজ করলেও তা ছিল নিউটনীয় বলবিদ্যার ওপর কৃত্রিম কোয়ান্টাম নিয়মের জোড়াতালি। ১৯২৩ থেকে ১৯২৭ সালের মধ্যে ইউরোপের একঝাঁক প্রতিভাবান তরুণ বিজ্ঞানীর হাত ধরে বিস্ফোরিত হলো প্রকৃত কোয়ান্টাম বলবিদ্যা: লুই দ্য ব্রয় প্রমাণ করলেন কণারও তরঙ্গ রূপ রয়েছে, এরউইন শ্রোডিঙ্গার আবিষ্কার করলেন তরঙ্গ সমীকরণ, ম্যাক্স বর্ন উন্মোচন করলেন সম্ভাবনার অর্থ, আর ভের্নার হাইজেনবার্গ মহাবিশ্বের নিয়তিকে বেঁধে দিলেন অনিশ্চয়তার অমোঘ নীতিতে।

দ্য ব্রয়ের পদার্থের তরঙ্গ: প্রকৃতির নান্দনিক প্রতিসাম্য

১৯২৪ সালে প্যারিসের সর্বোন বিশ্ববিদ্যালয়ে পিএইচডি থিসিসে ফরাসি অভিজাত লুই দ্য ব্রয় এক সাহসী প্রশ্ন তুললেন: আলো যদি তরঙ্গ হয়েও ফোটন কণার মতো আচরণ করতে পারে, তবে ইলেকট্রনের মতো কণা কেন তরঙ্গের মতো আচরণ করবে না? তিনি ঘোষণা করলেন যেকোনো গতিশীল কণার একটি মৌলিক তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে:

$$lambda = frachp = frachmv$$

১৯২৭ সালে ডেভিসন ও জার্মার বেল ল্যাবরেটরিতে নিকেল কেলাসের ভেতর দিয়ে ইলেকট্রন পাঠিয়ে ব্যতিচার ও অপবর্তন প্যাটার্ন তৈরি করে প্রমাণ করলেন—বস্তুর তরঙ্গ রূপ কোনো কল্পনা নয়, এক পরম ভৌত সত্য।

Shakil Mahmud • Research Monograph

শ্রোডিঙ্গারের মহাকাব্যিক তরঙ্গ সমীকরণ

দ্য ব্রয়ের তরঙ্গ তত্ত্ব পড়ে অস্ট্রিয়ান পদার্থবিজ্ঞানী এরউইন শ্রোডিঙ্গার ভাবলেন, যদি ইলেকট্রন তরঙ্গ হয়, তবে সেই তরঙ্গের গতি নিয়ন্ত্রণকারী সমীকরণটি কোথায়? ১৯২৫-২৬ সালের শীতে সুইস আল্পসের অবকাশে তিনি প্রণয়ন করলেন বিখ্যাত শ্রোডিঙ্গার সমীকরণ:

$$ihbar frac partial Psi i partial t = left[- frac hbar^2 2m nabla^2 + V right] Psi$$

এই সমীকরণ হাইড্রোজেন পরমাণুতে প্রয়োগ করার সাথে সাথে বোরের শক্তিস্তর, কোয়ান্টাম সংখ্যা (n, l, m) এবং পারমাণবিক অরবিটালের ত্রিমাত্রিক আকার স্বতঃস্ফূর্তভাবে গণিতের স্বাভাবিক নিয়মে বেরিয়ে এলো।

ম্যাক্স বর্নের সম্ভাবনার ঘনত্ব ও নিশ্চয়তাবাদের সমাধি

তরঙ্গ ফাংশন Psi-এর ভৌত অর্থ কী? ১৯২৬ সালে ম্যাক্স বর্ন আবিষ্কার করলেন এর আসল তাৎপর্য: Psi কোনো দৃশ্যমান বস্তু নয়; বরং এর পরম মানের বর্গ $|Psi|^2$ হলো নির্দিষ্ট স্থানে ও সময়ে কণাটি খুঁজে পাওয়ার **সম্ভাবনার ঘনত্ব (Probability Density)**:

$$P(mathbf{r}, t) = |Psi(mathbf{r}, t)|^2$$

নিউটনের ক্লাসিক্যাল নিশ্চয়তাবাদ চিরতরে স্তব্ধ হয়ে গেল। প্রকৃতি ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র স্তরে কোনো নির্দিষ্ট কক্ষপথ অনুসরণ করে না; বরং তা চলে বিশুদ্ধ সম্ভাবনার ছন্দে।

হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি

১৯২৭ সালে পঁচিশ বছর বয়সী ভের্নার হাইজেনবার্গ দেখালেন যে অবস্থান ও ভরবেগের অপারেটরদের গুণফল বিনিময়যোগ্য নয় ($[hat{x}, hat{p}] = ihbar$)। এর ফলে কোনো কণার অবস্থান ও ভরবেগ একই সাথে নিখুঁতভাবে পরিমাপ করা অসম্ভব:

$$Delta x Delta p ge frac hbar 2$$

একইভাবে শক্তি ও সময়ের মধ্যেও বিদ্যমান রয়েছে অনিশ্চয়তার সম্পর্ক:

$$Delta E Delta t ge frac hbar 2$$

এটি আমাদের পরিমাপক যন্ত্রের কোনো দুর্বলতা নয়; এটি মহাবিশ্বের অস্তিত্বের এক অন্তর্নিহিত সীমা। নিউটনের যান্ত্রিক ঘড়ির মতো মহাবিশ্ব ভেঙে গিয়ে স্থান নিল কোয়ান্টাম সম্ভাবনার এক মহিমান্বিত সাগরে।

❦

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "পদার্থের তরঙ্গ ও সম্ভাবনার কুয়াশা — লুই দ্য ব্রয়, এরউইন শ্রোডিঙ্গার এবং ভের্নার হাইজেনবার্গ"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ১০। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-10-matter-waves-uncertainty-schrodinger-heisenberg-bn/

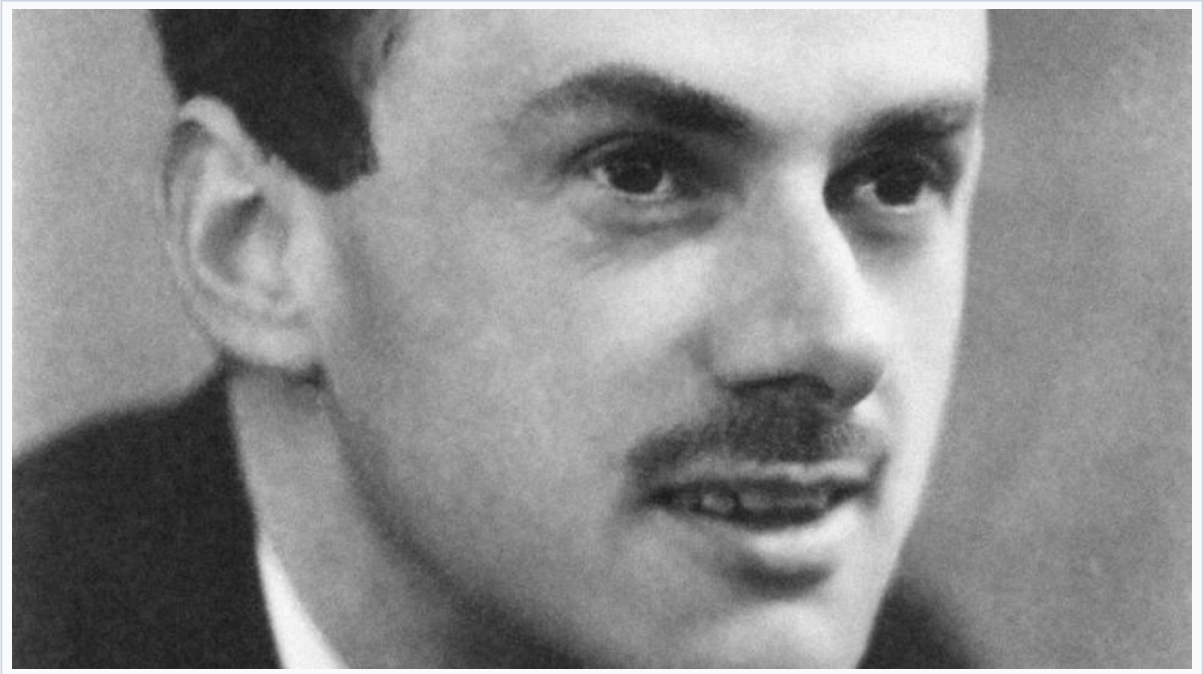
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • একাদশ খণ্ড

আপেক্ষিক কোয়ান্টাম এবং প্রতিপদার্থ — পল ডিরাকের সমীকরণ

আপেক্ষিক কোয়ান্টাম এবং প্রতিপদার্থ — পল ডিরাকের সমীকরণ

426 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১১: *চিত্র: পল ডিরাক (১৯০২–১৯৮৪)—ব্রিটিশ তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞানী যিনি ১৯২৮ সালে বিশেষ আপেক্ষিকতা ও কোয়ান্টাম বলবিদ্যাকে একীভূত করে ডিরাক সমীকরণ রচনা করেন এবং পজিট্রন বা প্রতিকণার অস্তিত্বের ভবিষ্যদ্বাণী করেন।*

১৯২৭ সাল নাগাদ শ্রোডিঙ্গারের তরঙ্গ বলবিদ্যা পরমাণুর বর্ণালী ব্যাখ্যায় অভাবনীয় সাফল্য অর্জন করলেও তাতে একটি মারাত্মক ত্রুটি ছিল: এটি আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিকতা তত্ত্বের সাথে সম্পূর্ণ অসামঞ্জস্যপূর্ণ ছিল। ১৯২৮ সালের গোড়ার দিকে কেমব্রিজের সেন্ট জনস কলেজের পঁচিশ বছর বয়সী আত্মভোলা গণিতবিদ পল ডিরাক মানব ইতিহাসের সবচেয়ে নিখুঁত ও নান্দনিক সমীকরণটি উদ্ভাবন করেন—যা একই সাথে ইলেকট্রনের স্পিন ব্যাখ্যা করল এবং উন্মোচন করল প্রতিপদার্থের (অ্যান্টিম্যাটার) এক অবিশ্বাস্য আয়না-মহাবিশ্ব।

ক্লেইন-গর্ডন সমীকরণ ও নেতিবাচক সম্ভাবনার সংকট

শ্রোডিঙ্গারের সমীকরণে স্থান ছিল দ্বিতীয় মাত্রার ($nabla^2$) কিন্তু সময় ছিল প্রথম মাত্রার ($fracpartialpartialt$)। আপেক্ষিকতার ভর-শক্তি সম্পর্ক ($E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$) মেনে নিতে গিয়ে অস্কার ক্লেইন ও ওয়াল্টার গর্ডন যে সমীকরণ বানিয়েছিলেন, তাতে এক অদ্ভুত বিপর্যয় দেখা দিল: কণার অস্তিত্বের সম্ভাবনা ঋণাত্মক (rho < 0) হয়ে যায়, যা বাস্তবে অসম্ভব।

ডিরাকের সমীকরণ: স্থান-কালের বর্গমূল

ডিরাক বুঝলেন সম্ভাবনাকে ধনাত্মক রাখতে হলে সমীকরণটিকে সময়ের সাপেক্ষে প্রথম মাত্রার হতে হবে; আর আপেক্ষিকতার প্রতিসাম্য রক্ষা করতে হলে স্থানের সাপেক্ষেও প্রথম মাত্রার হতে হবে। তিনি আপেক্ষিকতার সমীকরণের আক্ষরিক “বর্গমূল” নিয়ে তৈরি করলেন ঐতিহাসিক ডিরাক সমীকরণ:

left(i gamma^mu partial_mu – m right) psi = 0

এই সমীকরণ লরেন্টজ রূপান্তরে অক্ষুণ্ণ রাখতে হলে এর সহগ $gamma^mu$-গুলো সাধারণ কোনো সংখ্যা হতে পারে না; এগুলোকে হতে হয় $4times4$ ক্লিফোর্ড বীজগণিতীয় ম্যাট্রিক্স। ফলে তরঙ্গ ফাংশন psi কোনো সাধারণ সংখ্যা নয়, বরং একটি চার-উপাদান বিশিষ্ট স্পিনর (Dirac Bispinor)।

Shakil Mahmud • Research Monograph

ইলেকট্রনের স্পিনের স্বাভাবিক জন্ম

কোনো জোরজবরদস্তি ছাড়াই ডিরাক সমীকরণ থেকে ইলেকট্রনের অন্তর্নিহিত কৌণিক ভরবেগ বা স্পিন $(1/2hbar)$ এবং এর গাইরোম্যাগনেটিক অনুপাত ($gapprox2$) স্বয়ংক্রিয়ভাবে প্রস্ফুটিত হলো। স্পিন কোনো কৃত্রিম অনুমান নয়—এটি কোয়ান্টাম বলবিদ্যা ও স্থান-কালের মিলনের এক অনিবার্য গাণিতিক পরিণতি।

ডিরাক সাগর ও প্রতিপদার্থের ভবিষ্যদ্বাণী

কিন্তু ডিরাক সমীকরণে একটি অদ্ভুত রহস্য লুকিয়ে ছিল: এর দুটি সমাধান ছিল ধনাত্মক শক্তির $(+mc^2)$, আর দুটি ছিল সমান ঋণাত্মক শক্তির $(-mc^2)$। কোয়ান্টাম বলবিদ্যায় সমস্ত ইলেকট্রনের অবিলম্বে ঋণাত্মক শক্তির স্তরে ঝাঁপিয়ে পড়ে অসীম শক্তি বিকিরণ করার কথা।

১৯৩০ সালে ডিরাক প্রস্তাব করলেন **ডিরাক সাগর (Dirac Sea)**: মহাবিশ্বের শূন্যস্থান আসলে শূন্য নয়, তা অসীম ঋণাত্মক শক্তির ইলেকট্রন দ্বারা কানায় কানায় পূর্ণ (পলির বর্জন নীতি অনুযায়ী)। যদি একটি উচ্চ শক্তির গামা রশ্মি ($ge১.০২২textMeV$) সেই সাগরের কোনো ঋণাত্মক ইলেকট্রনকে ধাক্কা দিয়ে বের করে আনে, তবে সেখানে একটি শূন্যস্থান বা "গর্ত" তৈরি হবে।

এই গর্তটি আচরণ করবে অবিকল ইলেকট্রনের সমান ভরের কিন্তু বিপরীত ধনাত্মক চার্জযুক্ত একটি বাস্তব কণার মতো—**প্রতিপদার্থ (Antimatter)** বা পজিট্রন (e^+)।

> *"আমার সমীকরণটি আমার চেয়েও বেশি বুদ্ধিমান ছিল।" — পল ডিরাক*

১৯৩২ সালের আগস্টে কার্ল অ্যান্ডারসন ক্যালটেকে মহাজাগতিক রশ্মির ক্লাউড চেম্বার ছবিতে এমন এক কণার সন্ধান পেলেন যা ইলেকট্রনের সমান হালকা কিন্তু বিপরীত দিকে বেঁকে যায়—আবিষ্কৃত হলো পজিট্রন। ডিরাকের গাণিতিক অন্তর্দৃষ্টি প্রমাণ করল যে এই মহাবিশ্বের প্রতিটি কণারই রয়েছে এক বিপরীত প্রতিচ্ছবি।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "আপেক্ষিক কোয়ান্টাম এবং প্রতিপদার্থ — পল ডিরাকের সমীকরণ"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ১১।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-11-relativistic-quantum-antimatter-paul-dirac-equation-bn/

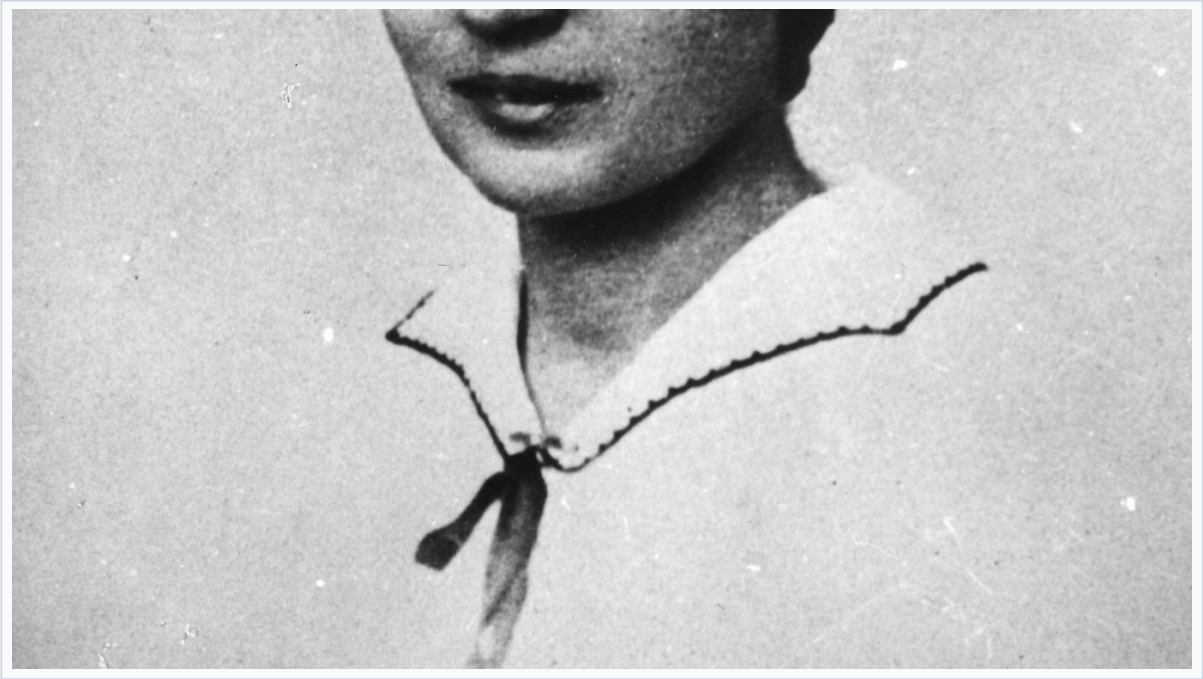
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দ্বাদশ খণ্ড

পরমাণু কেন্দ্রের বিভাজন — লিসা মাইটনার, অটো হান এবং নিউক্লিয়ার ফিশন

পরমাণু কেন্দ্রের বিভাজন — লিসা মাইটনার, অটো হান এবং নিউক্লিয়ার ফিশন

468 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১২: *চিত্র: লিজ মাইটনার (১৮৭৮–১৯৬৮)—অস্ট্রীয়-সুইডিশ পদার্থবিজ্ঞানী যিনি ১৯৩৮ সালে ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসের বিভাজন প্রক্রিয়ার তাত্ত্বিক রূপ দেন এবং প্রমাণ করেন যে ভর রূপান্তরিত হয়ে বিপুল পরিমাণ পারমাণবিক শক্তি নির্গত হয়।*

১৯৩৮ সালের ডিসেম্বর মাস—দ্বিতীয় বিশ্বযুদ্ধের দ্বারপ্রান্তে দাঁড়িয়ে তখন মানব সভ্যতা। সুইডেনের কনগালভ শহরে নির্বাসনে থাকা এক পদার্থবিজ্ঞানীর হাতে বার্লিন থেকে পাঠানো একটি চিঠি পৌঁছাল, যা বিজ্ঞানের গতিমুখ চিরতরে বদলে দিল। বার্লিনের রসায়নবিদ অটো হান ইউরেনিয়াম পরমাণুর ওপর নিউট্রন নিক্ষেপ করে ভারী মৌল তৈরি করতে গিয়ে পেয়েছিলেন বেরিয়াম—যার ভর ইউরেনিয়ামের প্রায় অর্ধেক! বিজ্ঞানী লিসা মাইটনার এবং তাঁর ভাগ্নে অটো ফ্রিশ তুষারাবৃত বনে হাঁটতে হাঁটতে অনুধাবন করলেন অবিশ্বাস্য সত্য: পরমাণুর কেন্দ্র দ্বিখণ্ডিত হয়েছে, আর মুক্ত হয়েছে আইনস্টাইনের $E = mc^2$ সূত্রের সেই বিধ্বংসী মহাজাগতিক শক্তি।

নিউক্লিয়াসের ভেতরের জগৎ ও নিউট্রনের আবিষ্কার

১৯৩২ সালে কেমব্রিজের ক্যাভেন্ডিশ ল্যাবরেটরিতে জেমস চ্যাডউইক পরমাণু নিউক্লিয়াসের শেষ মৌলিক উপাদান আবিষ্কার করলেন—**নিউট্রন**, যার ভর প্রোটনের প্রায় সমান কিন্তু কোনো বৈদ্যুতিক চার্জ নেই ($m_n approx ১.৬৭৫ times ১০^{-২৭}$ কেজি)।

যেহেতু নিউট্রনের কোনো চার্জ নেই, তাই ধনাত্মক নিউক্লিয়াস একে বিকর্ষণ করে না। রোমে এনরিকো ফার্মি বুঝতে পারলেন যে ধীরগতির নিউট্রন হলো ভারী পরমাণুর বুক চিরে ভেতরে প্রবেশ করার আদর্শ হাতিয়ার।

বার্লিনের পরীক্ষাগার ও বেরিয়ামের ধাঁধা

বার্লিনে অটো হান এবং অস্ট্রিয়ান পদার্থবিজ্ঞানী লিসা মাইটনার ত্রিশ বছর ধরে একসাথে গবেষণা করছিলেন। কিন্তু ১৯৩৮ সালের জুলাইয়ে ইহুদি বংশোদ্ভূত হওয়ার কারণে নাৎসি জার্মানি থেকে প্রাণভয়ে পালিয়ে সুইডেনে আশ্রয় নিতে বাধ্য হন মাইটনার।

Shakil Mahmud • Research Monograph

বার্লিনে হান এবং ফ্রিটজ স্ট্রাসম্যান ইউরেনিয়ামে নিউট্রন আঘাত করে রাসায়নিক পরীক্ষায় নিশ্চিত হলেন যে সেখানে বেরিয়াম ($Z = 56$) তৈরি হয়েছে। হতবাক হান গোপনে মাইটনারকে চিঠি লিখলেন: *"ইউরেনিয়াম কি ভেঙে বেরিয়াম হয়ে যেতে পারে? তুমি পদার্থবিজ্ঞানের কোনো যুক্তি দিয়ে এর ব্যাখ্যা দিতে পারো?"*

তরল ফোঁটা মডেল ও নিউক্লিয়াসের বিভাজন

কনগালভের জঙ্গলে বসে মাইটনার ও ফ্রিশ নিলস বোরের **তরল ফোঁটা মডেল** প্রয়োগ করলেন। একটি ভারী নিউক্লিয়াস হলো পানির ফোঁটার মতো—সবল নিউক্লীয় বল পৃষ্ঠটানের মতো একে একসাথে ধরে রাখে, আর ৯২টি প্রোটনের স্থির তড়িৎ বিকর্ষণ বল একে ভেঙে দিতে চায়।

ধীরগতির একটি নিউট্রন শোষণ করার পর ইউরেনিয়াম-২৩৫ নিউক্লিয়াস উত্তেজিত হয়ে ডাম্বেলের মতো লম্বাটে আকার ধারণ করে:

$$^{235}_{92}textU + ^{1}_{0}textnto ^{236}_{92}textU^{*}to ^{141}_{56}textBa + ^{92}_{36}textKr + ৩^{1}_{0}textn + Q$$

ডাম্বেলের মাঝের অংশ সরু হয়ে গেলে দুটি খণ্ডের প্রোটনগুলোর প্রবল কুলম্ব বিকর্ষণ বল নিউক্লিয়ার পৃষ্ঠটানকে ছাড়িয়ে যায় এবং আলোর গতির প্রায় দশ ভাগের এক ভাগ গতিতে পরমাণুর কেন্দ্রটি সশব্দে ফেটে দুই টুকরো হয়ে যায়।

শক্তির নিখুঁত হিসাব: E = mc² এর বাস্তব রূপ

মাইটনার সঙ্গে সঙ্গে মুক্ত হওয়া শক্তির হিসাব কষলেন। দুটি খণ্ডের মধ্যকার কুলম্ব বিকর্ষণজনিত গতিশক্তি দাঁড়ায়:

$$E = frac14pivarepsilon_0 fracZ_1 Z_2 e^2 rapprox২০০textMeVapprox৩.২times১০^{-১১}textজুল$$

এই বিপুল শক্তি কোথা থেকে এলো? মাইটনার ভর মেপে দেখলেন: বিভাজনের পর উৎপাদিত কণাগুলোর মোট ভর মূল ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসের চেয়ে প্রোটনের ভরের প্রায় এক-পঞ্চমাংশ পরিমাণ কম ($Deltamapprox০.২১৫textu$)। আইনস্টাইনের সূত্রে বসাতেই:

$$Q = Deltamc^2 approx ২০০textMeV$$

গণিত মিলে গেল নিখুঁতভাবে! জীববিজ্ঞানের কোষ বিভাজন থেকে ধার করে ফ্রিশ এর নাম দিলেন **ফিশন (Fission)**। এরপর লিও সিজার্ড যখন বুঝলেন প্রতিটি ফিশনে একাধিক নতুন নিউট্রন মুক্ত হয়, তখন স্বয়ংক্রিয় চেইন রিঅ্যাকশনের সম্ভাবনা উন্মুক্ত হলো—শুরু হলো ভয়াল ও অমিত সম্ভাবনাময় পারমাণবিক যুগ।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "পরমাণু কেন্দ্রের বিভাজন — লিসা মাইটনার, অটো হান এবং নিউক্লিয়ার ফিশন"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ১২।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-12-splitting-the-core-lise-meitner-nuclear-fission-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ত্রয়োদশ খণ্ড

বিজ্ঞানের শিরোমণি — কোয়ান্টাম ইলেকট্রোডায়নামিক্স এবং ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম

বিজ্ঞানের শিরোমণি — কোয়ান্টাম ইলেকট্রোডায়নামিক্স এবং ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম

413 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৩: *চিত্র: রিচার্ড ফাইনম্যান (১৯১৮–১৯৮৮)—আমেরিকান তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞানী যিনি পথ-সমাকলন এবং ফাইনম্যান ডায়াগ্রামের মাধ্যমে আলো ও ইলেকট্রনের মিথস্ক্রিয়ার কোয়ান্টাম ইলেকট্রোডাইনামিক্স তত্ত্বকে আধুনিক রূপ দেন।*

১৯৪৭ সালে লং আইল্যান্ডের শেল্টার আইল্যান্ড কনফারেন্সে তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞান এক চরম গাণিতিক লজ্জার মুখোমুখি হলো। ডিরাক সমীকরণ আপেক্ষিকতা ও কোয়ান্টাম বলবিদ্যাকে যুক্ত করলেও আলো ও ইলেকট্রনের মধ্যকার মিথস্ক্রিয়া হিসাব করতে গেলেই সমীকরণগুলো অসীমে বিস্ফোরিত হচ্ছিল! পরবর্তী দুই বছরের মধ্যে রিচার্ড ফাইনম্যান, জুলিয়ান শুইঙ্গার, সিন-ইতিরো তোমোনাগা এবং ফ্রিম্যান ডাইসন এই অসীমের সংকট জয় করে গড়ে তুললেন কোয়ান্টাম ইলেকট্রোডায়নামিক্স (QED)—যাকে বিজ্ঞানের ইতিহাসের সবচেয়ে নিখুঁত ও সফল তত্ত্ব বলা হয়।

ল্যাম্ব শিফট ও অসীমের সংকট

ডিরাক সমীকরণ অনুযায়ী হাইড্রোজেন পরমাণুর $2S_{1/2}$ এবং $2P_{1/2}$ শক্তিস্তরের শক্তি অবিকল সমান হওয়ার কথা ছিল। কিন্তু ১৯৪৭ সালের এপ্রিলে উইলিস ল্যাম্ব ও রবার্ট রেথারফোর্ড রাডার প্রযুক্তি ব্যবহার করে দেখালেন যে দুটি স্তরের মাঝে প্রায় ১০৫৭ মেগাহার্টজের একটি স্পষ্ট শক্তির ব্যবধান রয়েছে—যা **ল্যাম্ব শিফট (Lamb Shift)** নামে পরিচিত।

একই সাথে ইলেকট্রনের চৌম্বক মোমেন্ট $g = 2$ হওয়ার কথা থাকলেও বাস্তবে তা সামান্য বেশি ($gapprox২.০০২৩$) পাওয়া গেল। কিন্তু কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির সমীকরণে ভার্চুয়াল কণার লুপ হিসাব করতে গেলে ইন্টিগ্রালের মান অসীম হয়ে যাচ্ছিল:

$$int_0^infty fracd^4k k^2(k-p)^2 to infty$$

রিনরমালাইজেশনের জাদুকরী সমাধান

টোকিওতে যুদ্ধের ধ্বংসস্তূপে বসে তোমোনাগা এবং হার্ভার্ডে শুইঙ্গার সমীকরণগুলোকে কোভ্যারিয়েন্ট রূপে সাজিয়ে অসীমগুলোকে আলাদা করতে সক্ষম হন।

Shakil Mahmud • Research Monograph

তাঁদের উপলব্ধি ছিল অত্যন্ত বাস্তবসম্মত: একটি ইলেকট্রন কখনোই পুরোপুরি বিচ্ছিন্ন থাকে না; তা সর্বদা ভার্চুয়াল ফোটন এবং ইলেকট্রন-পজিট্রন জোড়ের এক কোয়ান্টাম মেঘ দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে। এই অসীম মানগুলোকে পরীক্ষাগারে পরিমাপকৃত বাস্তব ভর (m_R) ও চার্জের (e_R) ভেতর পুনঃসংজ্ঞায়িত করার কৌশলকে বলা হয় **রিনরমালাইজেশন (Renormalization)**। এর ফলে সমস্ত অসীম দূর হয়ে সমীকরণগুলো বাস্তব সংখ্যা প্রদান করতে শুরু করল।

ফাইনম্যানের পাথ ইন্টিগ্রাল ও দৃষ্টিনন্দন ডায়াগ্রাম

যখন শুইঙ্গার পাতার পর পাতা জটিল সমীকরণ কষছিলেন, রিচার্ড ফাইনম্যান তখন কোয়ান্টাম বলবিদ্যার সম্পূর্ণ নতুন এক রূপ উন্মোচন করলেন: **পাথ ইন্টিগ্রাল (Path Integral)** বা ইতিহাসের সমষ্টি। একটি কণার এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে যাওয়ার সম্ভাবনা হলো স্থান-কালের সমস্ত সম্ভাব্য গতিপথের সমষ্টি:

$$langlex_f, t_f|x_i, t_irangle = intmathcalD[x(t)]expleft(fracihbarS[x]right)$$

কণাগুলোর মিথস্ক্রিয়া সহজে হিসাব করার জন্য ফাইনম্যান আঁকলেন দৃষ্টিনন্দন **ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম (Feynman Diagrams)**। সোজা তীরচিহ্নিত রেখা নির্দেশ করে ইলেকট্রন, ঢেউ খেলানো রেখা নির্দেশ করে ভার্চুয়াল ফোটন, আর প্রতিটি সংযোগবিন্দু নির্দেশ করে মিথস্ক্রিয়ার তীব্রতা ($alphaapproxfrac1137$):

mathcal{L}_{text{QED}} = bar{psi}(igamma^mu D_mu – m)psi – frac{1}{4}F_{munu}F^{munu}

বিজ্ঞানের চরমতম নির্ভুলতা

জুলিয়ান শুইঙ্গার ইলেকট্রনের অ্যানোমালাস চৌম্বক মোমেন্টের প্রথম সংশোধন হিসাব করেছিলেন:

$$a_e = fracg - 22 = fracalpha2piapprox০.০০১১৬১৪$$

আজ দশম মাত্রার ফাইনম্যান ডায়াগ্রামের মাধ্যমে QED তত্ত্ব ইলেকট্রনের চৌম্বক মোমেন্ট হিসাব করে দশমিকের পর বারো ঘর পর্যন্ত নিখুঁতভাবে:

$$a_e^texttheory = ০.০০১১৫৯৬৫২১৮১৬৪৩$$

পরীক্ষাগারের মান এবং তত্ত্বের এই মিল এতটাই নিখুঁত যে ফাইনম্যান একে তুলনা করেছিলেন নিউ ইয়র্ক থেকে লস অ্যাঞ্জেলেসের দূরত্ব মাপতে গিয়ে একটি মানুষের চুলের সমান নির্ভুলতার সাথে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "বিজ্ঞানের শিরোমণি — কোয়ান্টাম ইলেকট্রোডায়নামিক্স এবং ফাইনম্যান ডায়াগ্রাম"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ১৩।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-13-jewel-of-physics-quantum-electrodynamics-feynman-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • চতুর্দশ খণ্ড

মৌলিক কণার চিড়িয়াখানা ও স্ট্যান্ডার্ড মডেল — মারে গেল-ম্যান এবং কোয়ার্ক তত্ত্ব

মৌলিক কণার চিড়িয়াখানা ও স্ট্যান্ডার্ড মডেল — মারে গেল-ম্যান এবং কোয়ার্ক তত্ত্ব

442 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৪: *চিত্র: মারে গেল-মান (১৯২৯–২০১৯)—আমেরিকান তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞানী যিনি কণিকাসমূহের বিন্যাসে এইটফোল্ড ওয়ে এবং মৌলিক কোয়ার্ক মডেল প্রস্তাব করে আধুনিক স্ট্যান্ডার্ড মডেলের ভিত্তি স্থাপন করেন।*

১৯৫০-এর দশকের শেষ নাগাদ ক্লাসিক্যাল পারমাণবিক সারল্য—ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রনের শান্তিপূর্ণ জগত—এক চূড়ান্ত বিশৃঙ্খলায় রূপ নিল। শক্তিশালী কণা ত্বরকযন্ত্রে (Particle Accelerators) পরমাণু চূর্ণবিচূর্ণ করে বিজ্ঞানীরা আবিষ্কার করতে লাগলেন শত শত নতুন কণা: পাইয়ন, কাওন, ল্যাম্বডা, সিগমা, ডেল্টা। বিজ্ঞানী উইলিস ল্যাম্ব নোবেল বক্তৃতায় রসিকতা করে বলেছিলেন, নতুন কোনো কণা আবিষ্কারকারীকে দশ হাজার ডলার জরিমানা করা উচিত! এই বিশৃঙ্খল ‘কণা চিড়িয়াখানায়’ শৃঙ্খলা ফিরিয়ে এনে আধুনিক স্ট্যান্ডার্ড মডেলের পথ তৈরি করেন ক্যালটেকের বহুভাষাবিদ পদার্থবিজ্ঞানী মারে গেল-ম্যান।

স্ট্রেঞ্জনেস ও অষ্টমার্গ (Eightfold Way)

নতুন আবিষ্কৃত কণাগুলোর একটি অদ্ভুত স্বভাব ছিল: তারা সবল নিউক্লীয় বলের মাধ্যমে খুব দ্রুত ($১০^{-২৩}$ সেকেন্ডে) তৈরি হতো, কিন্তু দুর্বল বলের মাধ্যমে অতি ধীরগতিতে ($১০^{-১০}$ সেকেন্ডে) ক্ষয় হতো। ১৯৫৩ সালে গেল-ম্যান এবং কাজুহিকো নিশিজিমা একটি নতুন কোয়ান্টাম সংখ্যা প্রবর্তন করলেন: **স্ট্রেঞ্জনেস বা অদ্ভুততা (S)**:

$$Q = I_3 + fracB + S2$$

১৯৬১ সালে গেল-ম্যান গণিতের Lie গ্রুপ $SU(3)$ প্রয়োগ করে কণাগুলোকে ষড়ভুজ ও অষ্টভুজের মতো নান্দনিক জ্যামিতিক প্যাটার্নে সাজালেন। বৌদ্ধ দর্শনের অষ্টাঙ্গিক মার্গ থেকে অনুপ্রাণিত হয়ে তিনি এই ব্যবস্থার নাম দিলেন **অষ্টমার্গ (The Eightfold Way)**।

Shakil Mahmud • Research Monograph

ওমেগা-মাইনাস (Ω^-) কণার ঐতিহাসিক ভবিষ্যদ্বাণী

স্পিন-$3/2$ বেরিয়ন কণাগুলোকে যখন দশটি ঘরের পিরামিডে সাজানো হলো, তখন দেখা গেল পিরামিডের চূড়ার স্থানটি সম্পূর্ণ খালি। গেল-ম্যান ঘোষণা করলেন যে সেখানে একটি অনাবিষ্কৃত কণা থাকা আবশ্যক: **ওমেগা-মাইনাস ($Omega^-$)**, যার চার্জ হবে -1 এবং ভর হবে প্রায় ১৬৮০ $textMeV/c^2$।

১৯৬৪ সালের ফেব্রুয়ারিতে ব্রুকহ্যাভেন ন্যাশনাল ল্যাবরেটরিতে বুদবুদ চেম্বারের ১ লাখ ছবি বিশ্লেষণ করে অবিকল সেই বৈশিষ্ট্যের ওমেগা-মাইনাস কণাটি শনাক্ত করা হলো। এটি ছিল মেন্ডেলিভের পর্যায় সারণির মতো বিজ্ঞানের এক বিশাল বিজয়।

কোয়ার্ক হাইপোথিসিস

কণাগুলো কেন এরকম জ্যামিতিক বিন্যাস মেনে চলে? ১৯৬৪ সালে গেল-ম্যান (এবং স্বাধীনভাবে জর্জ জয়েগ) এক বৈপ্লবিক প্রস্তাব দিলেন: প্রোটন ও নিউট্রন আসলে কোনো মৌলিক কণা নয়! তারা তৈরি হয়েছে ভগ্নাংশ চার্জযুক্ত স্পিন-$1/2$ বিশিষ্ট অতি ক্ষুদ্র উপাদান দিয়ে।

জেমস জয়েসের উপন্যাস *'ফিনেগানস ওয়েক'*-এর একটি রহস্যময় লাইন *"Three quarks for Muster Mark!"* থেকে গেল-ম্যান এদের নাম দিলেন **কোয়ার্ক (Quark)**:

- **আপ কোয়ার্ক (u):** চার্জ $= +frac23e$
- **ডাউন কোয়ার্ক (d):** চার্জ $= -frac13e$
- **স্ট্রেঞ্জ কোয়ার্ক (s):** চার্জ $= -frac13e$

এই সরল বিন্যাসে প্রোটন হলো দুটি আপ ও একটি ডাউন কোয়ার্কের মিলন (uud to +frac{2}{3} + frac{2}{3} – frac{1}{3} = +1), আর নিউট্রন হলো একটি আপ ও দুটি ডাউন কোয়ার্কের সমষ্টি (udd to +frac{2}{3} – frac{1}{3} – frac{1}{3} = 0)।

স্ল্যাকের গভীর অস্থিতিস্থাপক বিচ্ছুরণ ও স্ট্যান্ডার্ড মডেল

১৯৬৮ থেকে ১৯৭১ সালের মধ্যে স্ট্যানফোর্ডের SLAC এক্সিলারেটরে ২০ বিলিয়ন ইলেকট্রন-ভোল্ট শক্তিতে প্রোটনের ওপর ইলেকট্রন আঘাত করা হলো। রাদারফোর্ডের পরীক্ষার মতো ইলেকট্রনগুলো প্রোটনের ভেতরের শক্ত বিন্দু-সদৃশ কণায় আঘাত খেয়ে ছিটকে গেল—প্রমাণিত হলো কোয়ার্ক নিছক গাণিতিক কল্পনা নয়, বাস্তব ভৌত কণা।

পরবর্তীতে আরও তিনটি ভারী কোয়ার্ক আবিষ্কৃত হয়: চার্ম (c), বটম (b) এবং টপ (t)। গ্লুয়ন বাহিত সবল নিউক্লীয় বলের মাধ্যমে আবদ্ধ হয়ে এই কোয়ার্কগুলোই গড়ে তুলেছে আধুনিক কণা পদার্থবিজ্ঞানের **স্ট্যান্ডার্ড মডেল (Standard Model)**:

$$SU(3)_Ctimes SU(2)_Ltimes U(1)_Y$$

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "মৌলিক কণার চিড়িয়াখানা ও স্ট্যান্ডার্ড মডেল — মারে গেল-ম্যান এবং কোয়ার্ক তত্ত্ব"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ১৪।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-14-particle-zoo-standard-model-gell-mann-quarks-bn/

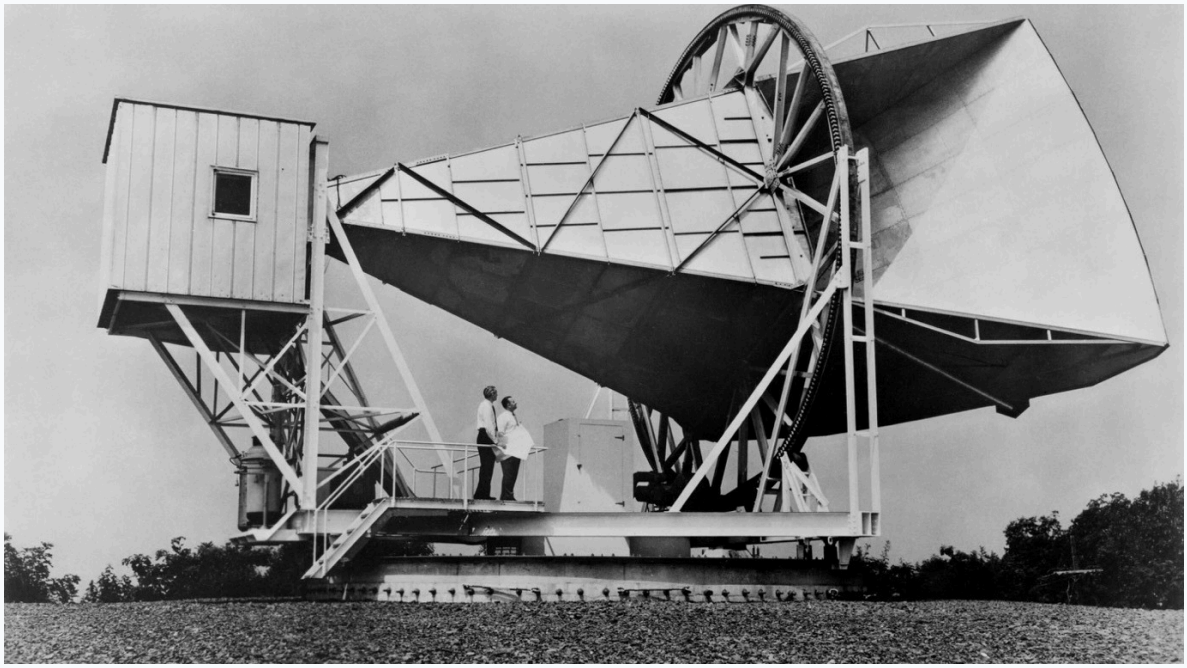
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • পঞ্চদশ খণ্ড

মহাজাগতিক প্রতিধ্বনি — আর্নো পেনজিয়াস, রবার্ট উইলসন এবং বিগ ব্যাং

মহাজাগতিক প্রতিধ্বনি — আর্নো পেনজিয়াস, রবার্ট উইলসন এবং বিগ ব্যাং

465 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১৫: *চিত্র: নিউ জার্সির বিখ্যাত হলমডেল হর্ন অ্যান্টেনা—যেখানে ১৯৬৪ সালে আর্নো পেনজিয়াস ও রবার্ট উইলসন মহাবিশ্বের আদিমতম অবশেষ মহাজাগতিক মাইক্রোওয়েভ পটভূমি বিকিরণ (CMB) আবিষ্কার করেন।*

বিংশ শতাব্দীর মাঝামাঝি সময়ে জ্যোতির্বিজ্ঞান দুটি সম্পূর্ণ বিপরীতমুখী দর্শনে বিভক্ত ছিল: ফ্রেড হয়েলের ‘স্থির অবস্থা মডেল’ (Steady State Model), যেখানে মহাবিশ্বকে চিরন্তন ও অবিনশ্বর মনে করা হতো; এবং জর্জ গ্যামোর ‘বিগ ব্যাং মডেল’ (Big Bang Model), যেখানে মহাবিশ্বকে এক আদিম মহাবিস্ফোরণের সৃষ্টি হিসেবে ভাবা হতো। ১৯৬৪ সালের বসন্তে নিউ জার্সির ক্রফোর্ড হিলে বেল ল্যাবরেটরির এক বিশালাকার রেডিও অ্যান্টেনা নিয়ে কাজ করতে গিয়ে দুই তরুণ জ্যোতির্বিজ্ঞানী এক অমীমাংসিত ফিসফিসানি শব্দের সন্ধান পেলেন—যা ছিল মহাবিশ্ব সৃষ্টির সরাসরি সাক্ষ্য।

জর্জ গ্যামোর আদিম অগ্নিকুণ্ডের ভবিষ্যদ্বাণী

১৯৪৮ সালে রুশ-আমেরিকান পদার্থবিজ্ঞানী জর্জ গ্যামো এবং রাল্ফ অ্যালফার হিসাব কষে দেখান যে মহাবিশ্বের সূচনালগ্নে যখন তাপমাত্রা ছিল কোটি কোটি ডিগ্রি, তখন পুরো মহাবিশ্ব ছিল এক তীব্র কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণে ভরা প্লাজমা।

স্থান-কালের প্রসারণের সাথে সাথে এই আদিম ফোটন তরঙ্গের দৈর্ঘ্যও মহাজাগতিক স্কেল ফ্যাক্টরের অনুপাতে প্রসারিত হতে থাকে:

$$lambda_{textobs} = lambda_{textemit}(1 + z)$$

অ্যালফার ও রবার্ট হারম্যান ভবিষ্যদ্বাণী করেছিলেন যে সেই মহাজাগতিক সৃষ্টির উত্তাপ ১৩৮০ কোটি বছর ধরে প্রসারিত হয়ে শীতল হতে হতে আজ মহাবিশ্বজুড়ে এক হিমশীতল তাপমাত্রায় (প্রায় ৫ কেলভিন) অবশিষ্ট থাকার কথা।

Shakil Mahmud • Research Monograph

হলমডেলের হর্ন অ্যান্টেনা ও কবুতরের উৎপাত

১৯৬৪ সালে বেল ল্যাবসের আর্নো পেনজিয়াস এবং রবার্ট উইলসন একটি ২০-ফুট হর্ন অ্যান্টেনা নিয়ে মিল্কিওয়ে গ্যালাক্সির রেডিও তরঙ্গ মাপার কাজ করছিলেন। কিন্তু অ্যান্টেনায় ৭.৩৫ সেন্টিমিটার তরঙ্গদৈর্ঘ্যে সার্বক্ষণিক এক অতিরিক্ত গোলমাল বা নয়েজ ধরা পড়তে লাগল, যা প্রায় ৩.৫ কেলভিন তাপমাত্রার বিকিরণের সমতুল্য।

দিন বা রাত, গ্রীষ্ম বা শীত—অ্যান্টেনা আকাশের যে প্রান্তেই তাক করা হোক না কেন, এই হিসহিস শব্দ অবিকল সমান। তাঁরা অ্যান্টেনার যন্ত্রাংশ পরিষ্কার করলেন, ফাটল টেপ দিয়ে মুড়ে দিলেন, এমনকি অ্যান্টেনায় বাসা বাঁধা দুটি পায়রাকে তাড়িয়ে তাদের ফেলে যাওয়া সাদা বিষ্ঠাও ধুয়ে মুছে ফেললেন। কিন্তু সেই রহস্যময় মহাজাগতিক গুঞ্জন একটুও কমল না!

প্রিন্সটন বিশ্ববিদ্যালয়ের সংযোগ ও কসমিক ডিকপলিং

মাত্র ৩০ মাইল দূরে প্রিন্সটন বিশ্ববিদ্যালয়ে রবার্ট ডিক এবং জিম পিবলসের দল তখন বিগ ব্যাং-এর অবশিষ্ট বিকিরণ খোঁজার জন্য একটি অ্যান্টেনা বানাচ্ছিলেন। পেনজিয়াস যখন হতাশ হয়ে ডিককে ফোন করলেন, ডিক তাৎক্ষণিকভাবে বুঝলেন কী ঘটেছে। ফোন রেখে তিনি তাঁর সহকর্মীদের বললেন: *“বন্ধুরা, আমাদের কাজটা অন্যরা করে ফেলেছে!”*

১৯৬৫ সালে দুটি দল যৌথভাবে গবেষণা প্রকাশ করল। পেনজিয়াস ও উইলসন যা পেয়েছিলেন তা হলো **মহাজাগতিক অণুতরঙ্গ পটভূমি বিকিরণ (Cosmic Microwave Background – CMB)**। মহাবিশ্বের বয়স যখন মাত্র ৩ লাখ ৮০ হাজার বছর ছিল ($zapprox১১০০$), তখন ইলেকট্রন ও প্রোটন মিলিত হয়ে নিরপেক্ষ হাইড্রোজেন তৈরি করে। ফলে ফোটনগুলো স্বাধীনভাবে মহাবিশ্বে ছড়িয়ে পড়ে এবং দীর্ঘ ১৩৮০ কোটি বছর ধরে পথ চলে আজ আমাদের টেলিস্কোপে এসে ধরা দেয়।

প্রকৃতির বিশুদ্ধতম কৃষ্ণবস্তু

১৯৮৯ সালে নাসা মহাকাশে পাঠায় কোবে (COBE) স্যাটেলাইট। জন ম্যাথারের নেতৃত্বে FIRAS যন্ত্র যখন CMB-এর বিকিরণ বর্ণালী মাপল, তখন দেখা গেল প্লাঙ্কের কৃষ্ণবস্তুর তাত্ত্বিক বক্ররেখার সাথে ডেটার প্রতিটি বিন্দু হুবহু মিলে গেছে:

$$T_0 = ২.৭২৫৪ pm ০.০০০৫৭ text{কেলভিন}$$

একই সাথে জর্জ স্মুট CMB-এর ভেতর এক লক্ষ ভাগের এক ভাগ তাপমাত্রার সূক্ষ্ম তারতম্য বা ‘কোয়ান্টাম দোলনা’ আবিষ্কার করলেন—যার মহাকর্ষীয় টানেই পরবর্তীতে গড়ে উঠেছে মহাবিশ্বের সমস্ত ছায়াপথ, নক্ষত্র এবং আমাদের সৌরজগৎ। জ্যোতির্বিজ্ঞান পরিণত হলো এক নিখুঁত পদার্থবিজ্ঞানে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "মহাজাগতিক প্রতিধ্বনি — আর্নো পেনজিয়াস, রবার্ট উইলসন এবং বিগ ব্যাং"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ১৫।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-15-cosmic-echo-penzias-wilson-big-bang-bn/

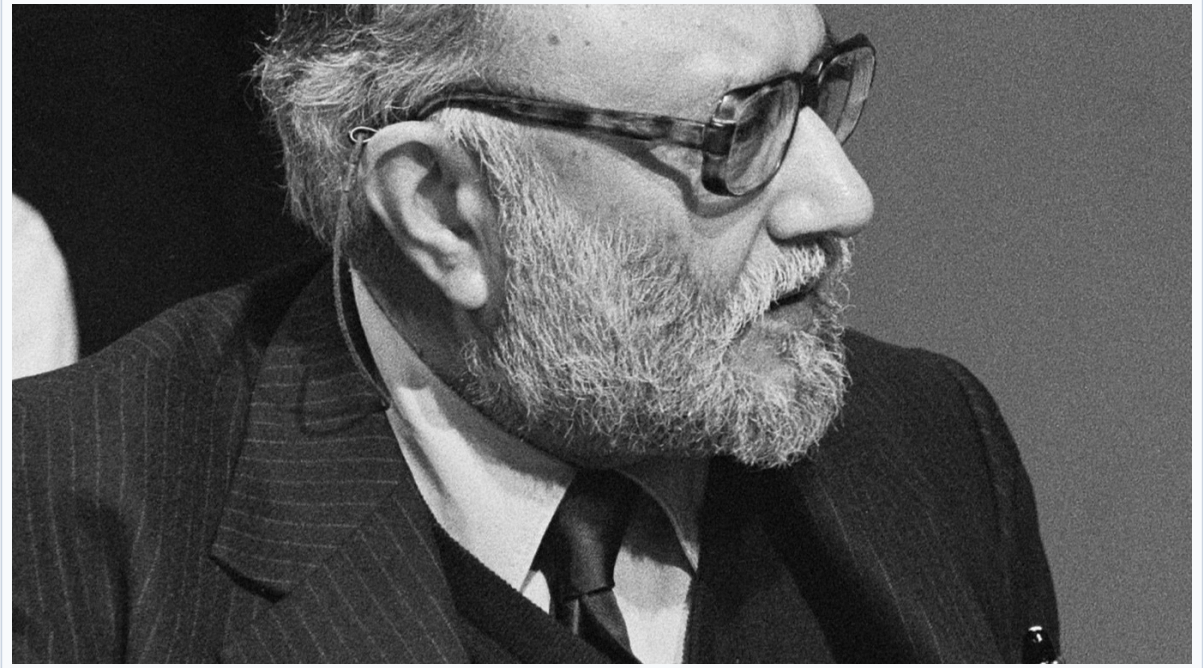
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ষোড়শ খণ্ড

তড়িৎ-দুর্বল মহা-ঐক্য — আবদুস সালাম, স্টিভেন ওয়াইনবার্গ এবং শেলডন গ্ল্যাশো

তড়িৎ-দুর্বল মহা-ঐক্য — আবদুস সালাম, স্টিভেন ওয়াইনবার্গ এবং শেলডন গ্ল্যাশো

447 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১৬: *চিত্র: প্রফেসর আব্দুস সালাম (১৯২৬–১৯৯৬)—যুগান্তকারী তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞানী যিনি স্টিভেন ওয়াইনবার্গ ও শেলডন গ্ল্যাশোর সাথে তড়িৎচুম্বকীয় বল ও দুর্বল নিউক্লীয় বলকে একীভূত করে ইলেক্ট্রোউইক তত্ত্ব প্রতিষ্ঠা করেন।*

বিংশ শতাব্দীর ষাটের দশক নাগাদ বিজ্ঞানীরা মহাবিশ্ব পরিচালনাকারী চারটি মৌলিক বলকে চিহ্নিত করেছিলেন: মহাকর্ষ বল, তড়িৎ-চৌম্বকীয় বল, সবল নিউক্লীয় বল এবং তেজস্ক্রিয় বিটা ক্ষয়ের জন্য দায়ী দুর্বল নিউক্লীয় বল। তড়িৎ-চৌম্বক বলের বাহক ছিল ভরহীন ফোটন এবং এর বিস্তার ছিল অসীম; আর দুর্বল বল কাজ করত কেবল পরমাণুর কেন্দ্রের অতি ক্ষুদ্র সীমানায় ($১০^{-১৮}$ মিটার)। এই দুটি আপাত বিপরীতধর্মী বলকে একত্রিত করা প্রায় অসম্ভব মনে হচ্ছিল—যতক্ষণ না পাকিস্তানি পদার্থবিজ্ঞানী আবদুস সালাম, আমেরিকান পদার্থবিজ্ঞানী স্টিভেন ওয়াইনবার্গ এবং শেলডন গ্ল্যাশো প্রতিসাম্য ভাঙনের জাদুকরী তত্ত্ব প্রয়োগ করে জন্ম দিলেন ঐক্যবদ্ধ তড়িৎ-দুর্বল তত্ত্ব (Electroweak Theory)।

ফার্মির দুর্বল তত্ত্ব ও গেজ প্রতিসাম্যের দ্বন্দ্ব

১৯৩৪ সালে এনরিকো ফার্মি বিটা ক্ষয়ের ব্যাখ্যায় চার-ফার্মিয়ন মিথস্ক্রিয়ার সূত্র দিয়েছিলেন। নিম্ন শক্তিতে তা চমৎকার কাজ করলেও উচ্চ শক্তিতে ($৩০০ textGeV$-এর বেশি) সমীকরণগুলো ভেঙে পড়ত এবং রিনরমালাইজ করা সম্ভব হচ্ছিল না।

ইয়াং-মিলস গেজ তত্ত্বে বলের বাহক কণাগুলোকে হতে হয় ভরহীন (যেমন ফোটন)। কিন্তু দুর্বল বলের বাহক কণাগুলো যদি ভরহীন হতো, তবে দুর্বল বলের প্রভাব অসীম দূর পর্যন্ত বিস্তৃত থাকার কথা—বাস্তবে যা কখনোই ঘটে না।

সালাম-ওয়াইনবার্গ-গ্ল্যাশো মডেল

১৯৬১ সালে শেলডন গ্ল্যাশো দেখান যে তড়িৎ ও দুর্বল বলের পেছনে $SU(2)_L times U(1)_Y$ প্রতিসাম্য গ্রুপ কাজ করতে পারে। কিন্তু কণাগুলোকে ভর দেওয়ার উপায় তিনি বের করতে পারেননি।

Shakil Mahmud • Research Monograph

১৯৬৭-৬৮ সালে স্টিভেন ওয়াইনবার্গ এবং লন্ডনের ইম্পেরিয়াল কলেজের অধ্যাপক আবদুস সালাম স্বাধীনভাবে হিগস মেকানিজম প্রয়োগ করলেন। তাঁরা দেখালেন যে মহাবিশ্বের সৃষ্টির প্রথম মুহূর্তে যখন তাপমাত্রা অত্যন্ত বেশি ছিল, তখন এই দুই বল অবিকল এক ছিল। কিন্তু মহাবিশ্ব শীতল হওয়ার সাথে সাথে হিগস ফিল্ড শূন্যস্থানে এক নির্দিষ্ট মান ($vapprox২৪৬textGeV$) অর্জন করে—যার ফলে মূল প্রতিসাম্যটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ভেঙে যায় (Spontaneous Symmetry Breaking):

$$SU(2)_LtimesU(1)_YtoU(1)_{textEM}$$

ওয়াইনবার্গ কোণ এবং W ও Z বোসন

প্রতিসাম্য ভেঙে যাওয়ার ফলে চারটি বলের বাহক কণার মধ্যে তিনটি কণা বিপুল ভর অর্জন করে এবং একটি কণা চিরতরে ভরহীন থেকে যায় (ফোটন):

- **চার্জযুক্ত দুর্বল বোসন (W^pm):** ভর প্রায় ৮০ $textGeV/c^2$ (প্রোটনের চেয়ে ৮০ গুণ ভারী!)
- **নিরপেক্ষ দুর্বল বোসন (Z^0):** ভর প্রায় ৯১ $textGeV/c^2$
- **তড়িৎ-চৌম্বক ফোটন ($gamma$):** ভর অবিকল শূন্য

এখানে $theta_W$ হলো বিখ্যাত **ওয়াইনবার্গ কোণ (Weinberg Angle)**, যা তড়িৎ চার্জ ও দুর্বল বলের সম্পর্কের সেতুবন্ধন:

$$e = gsintheta_W$$

গার্গামেল ও সার্নে W এবং Z বোসনের আবিষ্কার

সালাম ও ওয়াইনবার্গের তত্ত্বের সবচেয়ে সাহসী ভবিষ্যদ্বাণী ছিল একটি সম্পূর্ণ নতুন ধরনের মিথস্ক্রিয়া: নিরপেক্ষ দুর্বল কারেন্ট (Neutral Weak Current), যা পূর্বে কখনো দেখা যায়নি। ১৯৭৩ সালে সার্ন (CERN)-এর বিশালাকার গার্গামেল বুদবুদ চেম্বারে নিউট্রিনো আঘাতের ফলে একটি ইলেকট্রনের পিছু হটার স্পষ্ট চিহ্ন পাওয়া গেল—প্রমাণিত হলো নিরপেক্ষ কারেন্ট সত্য।

১৯৭৯ সালে আবদুস সালাম, স্টিভেন ওয়াইনবার্গ এবং শেলডন গ্ল্যাশোকে পদার্থবিজ্ঞানে নোবেল পুরস্কারে ভূষিত করা হয়। চার বছর পর, ১৯৮৩ সালে সার্নের প্রোটন-অ্যান্টিপ্রোটন সংঘর্ষক যন্ত্রে কার্লো রুবিয়া এবং সিমন ভ্যান ডার মীর সরাসরি W^pm ও Z^0 কণা দুটি আবিষ্কার করলেন কাঁটায় কাঁটায় তাদের ভবিষ্যদ্বাণীকৃত ভরে। তড়িৎ, চুম্বকত্ব এবং তেজস্ক্রিয়তা চিরতরে একই সূত্রে গাঁথা হলো।

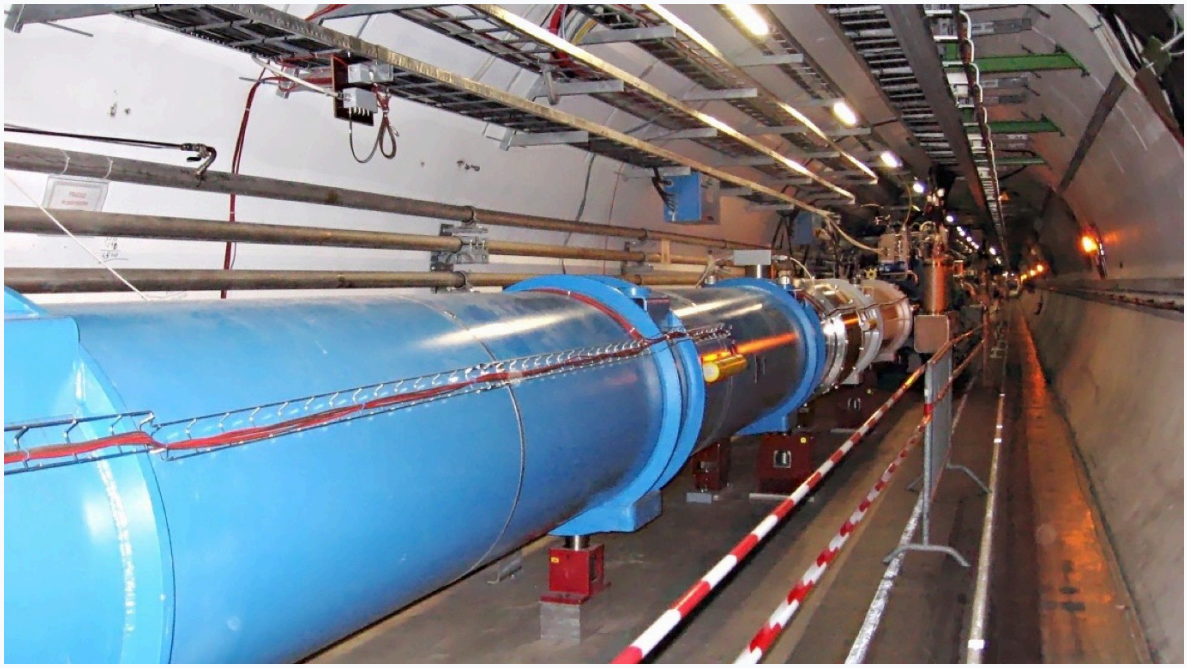
সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "তড়িৎ-দুর্বল মহা-ঐক্য — আবদুস সালাম, স্টিভেন ওয়াইনবার্গ এবং শেলডন গ্ল্যাশো"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ১৬।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-16-electroweak-synthesis-salam-weinberg-glashow-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • সপ্তদশ খণ্ড

ভরের আদি উৎস — হিগস মেকানিজম এবং লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডার

ভরের আদি উৎস — হিগস মেকানিজম এবং লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডার

420 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৭: *চিত্র: সার্ন (CERN)-এর ভূগর্ভস্থ ২৭ কিলোমিটার দীর্ঘ লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডার (LHC)—যেখানে ২০১২ সালের জুলাই মাসে পদার্থবিজ্ঞানীরা হিগস বোসন কণা শনাক্ত করে পদার্থের ভরের মূল রহস্য উন্মোচন করেন।*

১৯৬০-এর দশকের শেষের দিকে কণা পদার্থবিজ্ঞানের স্ট্যান্ডার্ড মডেল প্রায় সম্পূর্ণ হয়ে উঠলেও এর মূলে ছিল এক ভয়াবহ সংকট: প্রকৃতির মৌলিক সমীকরণগুলো অনুযায়ী কোনো কণারই কোনো নিজস্ব ভর থাকার কথা ছিল না! ইলেকট্রন ও কোয়ার্ক যদি ভরহীন হতো, তবে তারা আলোর গতিতে ছুটে বেড়াত —পরমাণু কখনো দানা বাঁধত না, তৈরি হতো না কোনো নক্ষত্র, গ্রহ বা মানবদেহ। দীর্ঘ পাঁচ দশক পর ২০১২ সালের ৪ জুলাই সুইজারল্যান্ডের সার্নে (CERN) পৃথিবীর সর্বকালের সবচেয়ে বৃহৎ যন্ত্র—লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডারে আবিষ্কৃত হলো বহু প্রতীক্ষিত হিগস বোসন কণা, যা উন্মোচন করল ভরের আসল উৎস।

গেজ প্রতিসাম্যের বাধা: ভর কেন নিষিদ্ধ?

কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরিতে মৌলিক মিথস্ক্রিয়াগুলো গেজ প্রতিসাম্য দ্বারা পরিচালিত হয়। সমীকরণে কোনো কণার ভর (m) সরাসরি যুক্ত করলে অমনি মৌলিক প্রতিসাম্য ভেঙে খানখান হয়ে যায় এবং সমীকরণগুলো অসীমে বিস্ফোরিত হয়। ফলে কণাদের স্বভাবজাত কোনো ভর থাকার উপায় ছিল না।

হিগস-এংলার্ট মেকানিজম ও মেক্সিকান হ্যাট বিভব

১৯৬৪ সালে পিটার হিগস, ফ্রাঁসোয়া এংলার্ট এবং রবার্ট ব্রুট এক অভূতপূর্ব গাণিতিক সমাধান প্রস্তাব করলেন। প্রকৃতির মৌলিক সূত্রগুলো প্রতিসাম্য বজায় রাখলেও আমাদের মহাবিশ্বের শূন্যস্থান (ভ্যাকুয়াম) নিজেই একটি বিশেষ ক্ষেত্র ধারণ করে—**হিগস ক্ষেত্র (Higgs Field)**।

এই ক্ষেত্রের শক্তি বিভব দেখতে অবিকল মেক্সিকান টুপির মতো (Mexican Hat Potential):

$$V(Phi) = mu^2|Phi|^2 + lambda|Phi|^4$$

Shakil Mahmud • Research Monograph

টুপির চূড়াটি প্রতিসম হলেও তা অস্থির। মহাবিশ্ব সৃষ্টি হওয়ার পর শীতল হতে হতে হিগস ফিল্ড টুপির খাঁজে গড়িয়ে পড়ে এবং পুরো মহাবিশ্বজুড়ে এক স্থায়ী মান ধারণ করে—যাকে বলে **ভ্যাকুয়াম প্রত্যাশা মান (VEV)**:

$$vapprox২৪৬textGeV$$

কণারা কীভাবে ভর লাভ করে?

মহাবিশ্বের সর্বত্র অদৃশ্য মধুর মতো ছড়িয়ে থাকা এই হিগস ক্ষেত্রের ভেতর দিয়ে চলার সময় বিভিন্ন কণা বাধাগ্রস্ত হয়। যে কণা হিগস ক্ষেত্রের সাথে যত বেশি মিথস্ক্রিয়া করে (ইউকাওয়া কাপলিং), সে কণা তত বেশি জড়তা বা ভর অনুভব করে:

$$m_f = fracy_fvsqrt2$$

টপ কোয়ার্ক তীব্রভাবে আটকে যায়, তাই তা বিপুল ভারী; ইলেকট্রন খুব কম মিথস্ক্রিয়া করে, তাই তা অতি হালকা; আর ফোটন হিগস ক্ষেত্রের সাথে বিন্দুমাত্র মিথস্ক্রিয়া করে না, তাই সে সম্পূর্ণ ভরহীন হয়ে আলোর গতিতে ছুটে চলে! আর এই হিগস ক্ষেত্রের নিজস্ব কম্পনই হলো **হিগস বোসন কণা**।

লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডার ও ২০১২ সালের ঐতিহাসিক দিন

এই কণা শনাক্ত করার জন্য জেনেভায় ভূগর্ভের ১০০ মিটার গভীরে তৈরি করা হয় ২৭ কিলোমিটার দীর্ঘ বৃত্তাকার সুরঙ্গ—লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডার (LHC)। অতিপরিবাহী চুম্বকের সাহায্যে দুটি প্রোটন রশ্মিকে আলোর গতির ৯৯.৯৯৯৯৯৯১% গতিতে ত্বরান্বিত করে পরস্পরের সাথে প্রবল শক্তিতে সংঘর্ষ ঘটানো হয়।

২০১২ সালের ৪ জুলাই সার্নের মিলনায়তনে যখন ৮৩ বছর বয়সী অশ্রুসজল পিটার হিগসের সামনে দাঁড়িয়ে বিজ্ঞানী দল ঘোষণা করল যে ১২৫ জিইভি (১২৫.১$textGeV/c^2$) ভরের হিগস বোসন কণা নিখুঁতভাবে ধরা পড়েছে—তখন পুরো বিজ্ঞান জগত আনন্দে ফেটে পড়ে। প্রমাণিত হলো মহাবিশ্বের শূন্যস্থান আসলে শূন্য নয়, এক অনন্ত শক্তির মহাকাব্যিক উৎস।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "ভরের আদি উৎস — হিগস মেকানিজম এবং লার্জ হ্যাড্রন কোলাইডার"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ১৭।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-17-origin-of-mass-higgs-mechanism-lhc-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • অষ্টাদশ খণ্ড

সিঙ্গুলারিটি ও ঘটনা দিগন্ত — কৃষ্ণগহ্বরের পদার্থবিজ্ঞান

সিঙ্গুলারিটি ও ঘটনা দিগন্ত — কৃষ্ণগহ্বরের পদার্থবিজ্ঞান

441 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১৮: *চিত্র: ২০১৯ সালে ইভেন্ট হরাইজন টেলিস্কোপ (EHT) দ্বারা ধারণকৃত মেসিয়ার ৮৭ গ্যালাক্সির কেন্দ্রে অবস্থিত দানবীয় ব্ল্যাকহোলের ছায়া—যা চরম মহাকর্ষীয় সীমানায় আইনস্টাইনের সাধারণ আপেক্ষিকতার নিখুঁত সত্যতা প্রমাণ করে।*

১৯১৫ সালের ডিসেম্বরে প্রথম বিশ্বযুদ্ধের রণাঙ্গনে কামান দাগার মাঝে জার্মান জ্যোতির্বিজ্ঞানী কার্ল শোয়ার্জশিল্ড আইনস্টাইনের সাধারণ আপেক্ষিকতা সমীকরণের প্রথম নিখুঁত সমাধান বের করলেন। তাঁর সমীকরণে ফুটে উঠল মহাবিশ্বের এক অবিশ্বাস্য ও ভয়াল রূপ: যদি কোনো গোলকাকার ভরকে একটি নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের ভেতর সংকুচিত করা হয়, তবে তার মুক্তিবেগ আলোর গতিকেও ছাড়িয়ে যাবে—জন্ম নেবে এমন এক মহাকর্ষীয় অতল গহ্বর যেখান থেকে আলো পর্যন্ত কখনো ফিরে আসতে পারে না: **কৃষ্ণগহ্বর (Black Hole)**।

শোয়ার্জশিল্ড মেট্রিক ও ঘটনা দিগন্ত (Event Horizon)

একটি অঘূর্ণায়মান ভরের বাইরের স্থান-কালের জ্যামিতি নির্ধারিত হয় শোয়ার্জশিল্ড মেট্রিক দ্বারা:

ds^2 = -left(1 – frac{r_s}{r}right) c^2 dt^2 + left(1 – frac{r_s}{r}right)^{-1} dr^2 + r^2 dOmega^2

এই সমীকরণে দুটি অদ্ভুত সীমা রয়েছে:

- **ঘটনা দিগন্ত ($r = r_s$):** কৃষ্ণগহ্বরের চারপাশের এক অদৃশ্য সীমানা, যাকে অতিক্রম করলে আর কোনোভাবেই বাইরের জগতে ফেরা যায় না। একে বলা হয় **শোয়ার্জশিল্ড ব্যাসার্ধ**:

$$r_s = frac2GMc^2$$

  পুরো পৃথিবীকে ব্ল্যাক হোল বানাতে চাইলে এর ব্যাসার্ধ হতে হবে মাত্র ৯ মিলিমিটার; আর সূর্যের ক্ষেত্রে তা প্রায় ৩ কিলোমিটার।

Shakil Mahmud • Research Monograph

- **কেন্দ্রীয় সিঙ্গুলারিটি ($r = 0$):** কৃষ্ণগহ্বরের কেন্দ্রস্থল, যেখানে সমস্ত ভর একটি শূন্য আয়তনের বিন্দুতে পুঞ্জীভূত হয়ে স্থান-কালের বক্রতা ও ঘনত্বকে অসীম করে দেয়—যেখানে সাধারণ আপেক্ষিকতা সমীকরণ নিজেই ভেঙে পড়ে।

চন্দ্রশেখর সীমা ও নক্ষত্রের অন্তিম নিয়তি

১৯৩০ সালে মাত্র উনিশ বছর বয়সে ভারতীয় বিজ্ঞানী সুব্রহ্মণ্যন চন্দ্রশেখর জাহাজে মাদ্রাজ থেকে ইংল্যান্ড যাওয়ার পথে নক্ষত্রদের অন্তিম নিয়তি হিসাব করলেন। কোয়ান্টাম ইলেকট্রন অবক্ষয় চাপ এবং মহাকর্ষের মধ্যকার ভারসাম্য হিসাব করে তিনি প্রমাণ করলেন শ্বেত বামন নক্ষত্রদের একটি সর্বোচ্চ ভরের সীমা রয়েছে—**চন্দ্রশেখর সীমা (Chandrasekhar Limit)**:

$$M_{textCh} approx ১.৪৪ M_odot$$

সূর্যের ভরের ১.৪৪ গুণের চেয়ে ভারী নক্ষত্র মহাকর্ষীয় পতন রোধ করতে পারে না; তারা চুপসে গিয়ে তৈরি করে নিউট্রন স্টার অথবা চূড়ান্তভাবে ব্ল্যাক হোল।

হকিং বিকিরণ ও কৃষ্ণগহ্বরের তাপগতিবিদ্যা

১৯৭২ সালে জ্যাকব বেকেনস্টাইন দেখান যে কৃষ্ণগহ্বরের ঘটনা দিগন্তের ক্ষেত্রফল আসলে তার বিশৃঙ্খলা বা এনট্রপির পরিমাপ। ১৯৭৪ সালে স্টিফেন হকিং কৃষ্ণগহ্বরের সীমানায় কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি প্রয়োগ করে এক অভাবনীয় সত্য প্রকাশ করলেন: কৃষ্ণগহ্বর পুরোপুরি কালো নয়; তারা ধীরে ধীরে তাপীয় বিকিরণ ছড়ায়—যাকে বলে **হকিং বিকিরণ (Hawking Radiation)**:

$$T_H = frachbarc^38piGMk_B$$

এবং কৃষ্ণগহ্বরের মোট এনট্রপি তার ঘটনা দিগন্তের ক্ষেত্রফলের এক-চতুর্থাংশের সমান:

$$S_{textBH} = frack_Bc^3A4Ghbar$$

তথ্য প্যারাডক্স ও প্রথম বাস্তব আলোকচিত্র

হকিংয়ের এই আবিষ্কার জন্ম দেয় **ব্ল্যাক হোল ইনফরমেশন প্যারাডক্সের**: কৃষ্ণগহ্বর বাষ্পীভূত হয়ে বিলীন হয়ে গেলে তার ভেতরে পড়া সমস্ত তথ্যের কী হবে? কোয়ান্টাম বলবিদ্যার তথ্য অবিনশ্বরতার নীতি কি তবে মিথ্যা? এই বিতর্ক সমাধানের চেষ্টাই জন্ম দিয়েছে আধুনিক হলোগ্রাফিক নীতি ও স্ট্রিং থিওরির নতুন দিগন্তের।

২০১৯ সালের এপ্রিলে ইভেন্ট হরাইজন টেলিস্কোপ (EHT) বিশ্বজুড়ে আটটি রেডিও টেলিস্কোপ একত্রিত করে দূরবর্তী M87 গ্যালাক্সির দানবীয় কৃষ্ণগহ্বরের ঘটনা দিগন্তের ছায়ার প্রথম বাস্তব ছবি তোলে। ১০০ বছর পূর্বে আইজ্যাক নিউটনের ধারণাকে অতিক্রম করে যে মহাকর্ষীয় গহ্বরের স্বপ্ন দেখেছিলেন আইনস্টাইন ও শোয়ার্জশিল্ড—তা মানবজাতির চোখে এক বাস্তব মহাজাগতিক সত্য হিসেবে ধরা দিল।

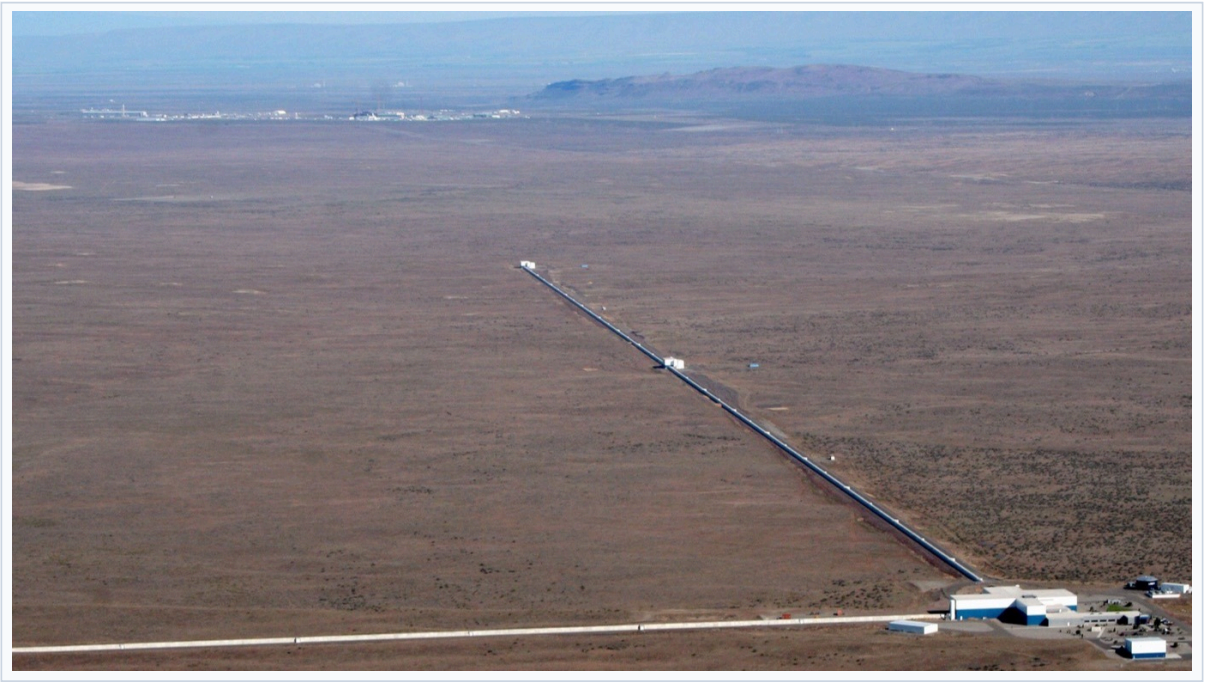
সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "সিঙ্গুলারিটি ও ঘটনা দিগন্ত — কৃষ্ণগহ্বরের পদার্থবিজ্ঞান"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ১৮। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-18-singularities-horizons-black-holes-hawking-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • উনবিংশ খণ্ড

স্থান-কালের মহাতরঙ্গ — মহাকর্ষীয় তরঙ্গ এবং মাল্টি-মেসেঞ্জার জ্যোতির্বিজ্ঞান

স্থান-কালের মহাতরঙ্গ — মহাকর্ষীয় তরঙ্গ এবং মাল্টি-মেসেঞ্জার জ্যোতির্বিজ্ঞান

489 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৯: *চিত্র: যুক্তরাষ্ট্রের হ্যানফোর্ডে অবস্থিত লাইগো (LIGO) পর্যবেক্ষণ কেন্দ্র—যার ৪ কিলোমিটার দীর্ঘ লেজার ইন্টারফেরোমিটার ২০১৫ সালের সেপ্টেম্বরে প্রথমবারের মতো স্থান-কালের মহাকর্ষীয় তরঙ্গ সরাসরি শনাক্ত করে।*

১৯১৬ সালের জুনে আলবার্ট আইনস্টাইন সাধারণ আপেক্ষিকতার গাণিতিক সূত্রে দেখালেন যে ত্বরান্বিত ভারী বস্তু মহাবিশ্বের স্থান-কালের চাদরে ঢেউ তোলে, যা আলোর গতিতে ছড়িয়ে পড়ে—**মহাকর্ষীয় তরঙ্গ (Gravitational Waves)**। কিন্তু বস্তুর সাথে মহাকর্ষের মিথস্ক্রিয়া এতটাই অতি সূক্ষ্ম যে আইনস্টাইন নিজেও বিশ্বাস করতেন না মানবজাতি কখনো তা সরাসরি মাপতে পারবে। আইনস্টাইনের তাত্ত্বিক অনুমানের ঠিক এক শতাব্দী পর ২০১৫ সালের ১৪ সেপ্টেম্বর আমেরিকার ৩০০০ কিলোমিটার ব্যবধানে অবস্থিত লাইগো (LIGO)-র দুটি বিশালাকার ইন্টারফেরোমিটার ১৩০ কোটি আলোকবর্ষ দূর থেকে আসা দুটি ব্ল্যাক হোলের সংঘর্ষের তরঙ্গ ধারণ করে মহাকাশ বিজ্ঞানের এক নতুন যুগের দ্বার উন্মোচন করল।

আইনস্টাইনের তরঙ্গ সমীকরণ ও চতুর্মেরু সূত্র (Quadrupole Formula)

দুর্বল মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে স্থান-কালকে বিবেচনা করা যায় সমতল মিনকভস্কি মেট্রিকের সাথে এক অতিক্ষুদ্র বিচ্যুতির (h_{munu}) যোগফল হিসেবে:

$$g_{munu} = eta_{munu} + h_{munu}$$

এই সমীকরণ সাজালে আলোর গতির মতো ত্রিমাত্রিক তরঙ্গ সমীকরণ তৈরি হয়:

$$Box h_{munu} = -frac{16 pi G}{c^4} T_{munu}$$

মহাকর্ষীয় তরঙ্গ নির্গমনের মোট ক্ষমতা নির্ভর করে ভরের চতুর্মেরু মোমেন্টের (Quadrupole Moment) পরিবর্তনের ওপর:

Shakil Mahmud • Research Monograph

$$P = frac{G}{5c^5} left langle dddot{I}_{ij} dddot{I}_{ij} right rangle$$

যেহেতু হরে রয়েছে আলোর গতির পঞ্চম ঘাত ($c^5 approx ২.৪৩ times ১০^{৪২}$), তাই সাধারণ কোনো বস্তুর নড়াচড়ায় এই তরঙ্গ তৈরি হয় না বললেই চলে; কেবল ব্ল্যাক হোল বা নিউট্রন নক্ষত্রের মতো মহাজাগতিক দানবদের প্রলয়ংকরী সংঘর্ষেই এমন তরঙ্গ তৈরি সম্ভব যা পরিমাপ করা যায়।

লাইগো (LIGO): মানব ইতিহাসের সবচেয়ে সংবেদনশীল কান

রেনার ওয়েইস, কিপ থর্ন এবং রোনাল্ড ড্রেভারের পরিকল্পনায় নির্মিত Advanced LIGO-র রয়েছে দুটি ৪ কিলোমিটার দীর্ঘ এল-আকৃতির বাহু বিশিষ্ট লেজার ইন্টারফেরোমিটার—একটি ওয়াশিংটনের হ্যানফোর্ডে এবং অন্যটি লুইজিয়ানার লিভিংস্টোনে।

যখন একটি মহাকর্ষীয় তরঙ্গ পৃথিবীর ভেতর দিয়ে যায়, তখন সে স্থান-কালকে বাঁকিয়ে এক বাহুর দৈর্ঘ্য বাড়িয়ে দেয় এবং অন্য বাহুর দৈর্ঘ্য সংকুচিত করে:

$$h = frac{2 Delta L}{L}$$

পৃথিবীতে পৌঁছানো তরঙ্গের মাত্রা ছিল প্রায় $h sim ১০^{-২১}$। ৪ কিলোমিটারের বাহুতে দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন দাঁড়ায়:

$$Delta L approx ১০^{-১৮} text{মিটার}$$

যা একটি প্রোটনের ব্যাসের হাজার ভাগের এক ভাগের চেয়েও কম! এই অবিশ্বাস্য পরিমাপ নিখুঁত করার জন্য কোয়ান্টাম আলোকবিজ্ঞান ও চার স্তরের পেন্ডুলামে ঝুলানো ৪০ কেজির বিশুদ্ধ সিলিকা কাঁচের দর্পণ ব্যবহার করা হয়।

GW150914: মহাবিশ্বের প্রথম কান খোলা

২০১৫ সালের ১৪ সেপ্টেম্বর ইউটিসি ০৯:৫০:৪৫ সময়ে লাইগোর দুটি ডিটেক্টরে ০.২ সেকেন্ডের এক অদ্ভুত হুইসেল বা ‘চিরপ’ সংকেত বেজে উঠল। কম্পিউটার সিমুলেশনে দেখা গেল:

আজ থেকে ১৩০ কোটি বছর পূর্বে ৩৬টি সূর্যের সমান ভরের এবং ২৯টি সূর্যের সমান ভরের দুটি কৃষ্ণগহ্বর আলোর অর্ধেকেরও বেশি গতিতে ঘুরতে ঘুরতে একে অপরকে গ্রাস করে ৬২টি সূর্যের ভরের একটি একক ব্ল্যাক হোলে পরিণত হয়েছে। আর পলকের মধ্যে ৩টি সূর্যের সমান ভর সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ মহাকর্ষীয় তরঙ্গ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে মহাবিশ্বে বিস্ফোরিত হয়েছে:

$$E = ৩ M_{\odot} c^2 approx ৫.৪ times ১০^{৪৭} text{জুল}$$

সেই ক্ষণিক মুহূর্তে ওই একক সংঘর্ষ থেকে নিঃসৃত মহাকর্ষীয় বিকিরণ মহাবিশ্বের সমস্ত দৃশ্যমান ছায়াপথের সমস্ত তারার সমন্বিত আলোর চেয়েও বেশি শক্তিশালী ছিল!

মাল্টি-মেসেঞ্জার জ্যোতির্বিজ্ঞান

২০১৭ সালের ১৭ আগস্ট দুটি নিউট্রন নক্ষত্রের সংঘর্ষ (GW170817) শনাক্ত হওয়ার মাত্র ১.৭ সেকেন্ড পর মহাকাশে গামা-রে টেলিস্কোপে তার আলোক সংকেত পাওয়া গেল। বিশ্বজুড়ে ৭০টি অপটিক্যাল টেলিস্কোপ সেই স্থানে সোনা ও প্ল্যাটিনামের মতো ভারী মৌল সৃষ্টির প্রমাণ (কিলোনোভা) পেল। মানবজাতি এতকাল মহাবিশ্বকে কেবল আলোর চোখে দেখত; এখন সে মহাবিশ্বের স্থান-কালের স্পন্দন শোনার কান লাভ করল।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "স্থান-কালের মহাতরঙ্গ — মহাকর্ষীয় তরঙ্গ এবং মাল্টি-মেসেঞ্জার জ্যোতির্বিজ্ঞান"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ১৯।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-19-ripples-in-spacetime-gravitational-waves-ligo-bn/

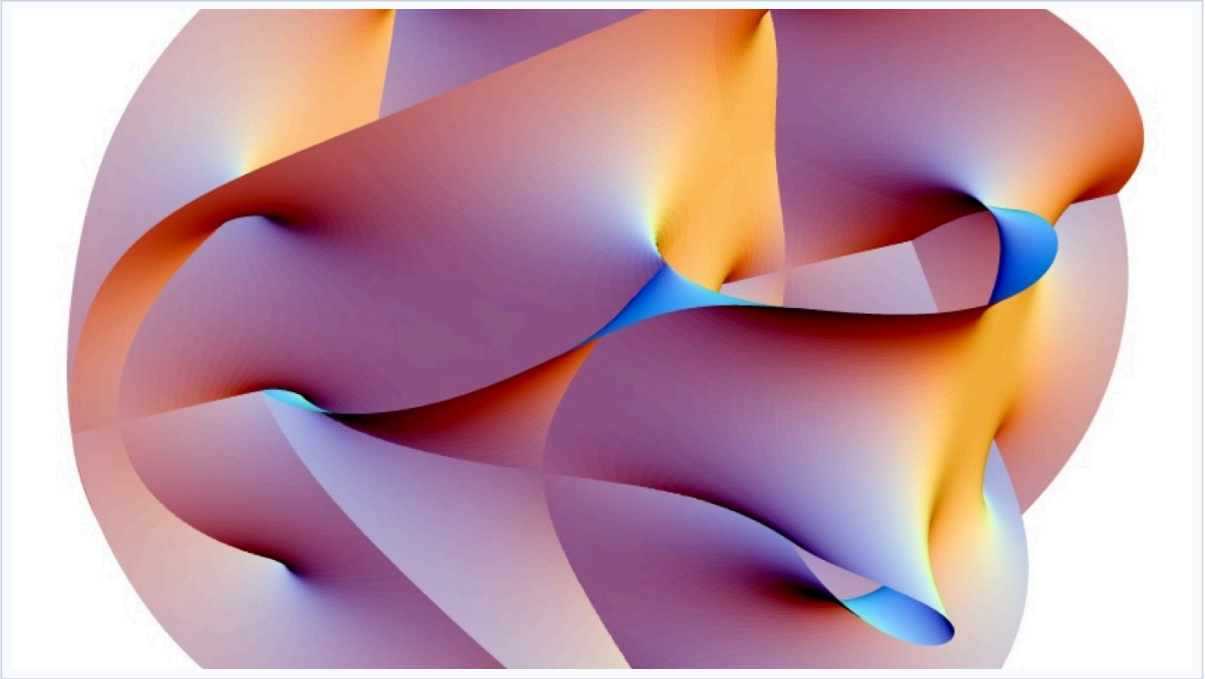
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • বিংশ খণ্ড

চূড়ান্ত সন্ধান — কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটি, হলোগ্রাফি এবং ২০২৬ সালের পদার্থবিজ্ঞান

চূড়ান্ত সন্ধান — কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটি, হলোগ্রাফি এবং ২০২৬ সালের পদার্থবিজ্ঞান

638 শব্দ • November 1, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ২০: *চিত্র: কালাবি-ইয়ো ম্যানিফোল্ডের জ্যামিতিক রূপ—সুপারস্ট্রিং তত্ত্বে কোয়ান্টাম বলবিদ্যা ও সাধারণ আপেক্ষিকতাকে একীভূত করতে ১০ বা ১১ মাত্রিক মহাবিশ্বের সুসংহত অতিরিক্ত মাত্রাসমূহের সম্ভাব্য মডেল।*

পিসার হেলানো মিনারে গ্যালিলিও গ্যালিলির ব্রোঞ্জের গোলক ফেলার চার শতাব্দী পর আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান বাস্তবতার দুটি অভূতপূর্ব স্তম্ভের ওপর দাঁড়িয়ে আছে: সাধারণ আপেক্ষিকতা তত্ত্ব—যা স্থান-কালের জ্যামিতিক বক্রতায় মহাকর্ষ ও বিশালাকার মহাবিশ্বকে ব্যাখ্যা করে; এবং কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরি—যা কণার ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র জগতে প্রকৃতির অপর তিনটি বলকে নিখুঁত সম্ভাবনায় পরিচালনা করে। কিন্তু তাদের গাণিতিক গভীরে এই দুটি তত্ত্ব একে অপরের সম্পূর্ণ বিপরীত ও সাংঘর্ষিক! ২০২৬ সালের দ্বারপ্রান্তে দাঁড়িয়ে পদার্থবিজ্ঞানের সর্বশ্রেষ্ঠ চ্যালেঞ্জ—**কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটি (Quantum Gravity)** বা একীভূত তত্ত্বের সন্ধান—মানবজাতির সবচেয়ে রোমাঞ্চকর বৌদ্ধিক অভিযাত্রা।

প্লাঙ্ক স্কেল: যেখানে স্থান-কাল গলে বিলীন হয়ে যায়

আলোর বেগ c, নিউটনের মহাকর্ষ ধ্রুবক G এবং প্লাঙ্কের ধ্রুবক $hbar$-এর সমন্বয়ে প্রকৃতির চরম ক্ষুদ্রতম সীমানা নির্ধারিত হয়:

- **ডার্ক ম্যাটার (২৬.৮%):** যা ছায়াপথগুলোকে ধরে রেখেছে কিন্তু আলোতে দৃশ্যমান নয়।
- **ডার্ক এনার্জি (৬৮.৩%):** যা পুরো মহাবিশ্বের স্থান-কালকে দ্রুততর গতিতে প্রসারিত করে চলেছে।
- **হাবল সংকট (Hubble Tension):** মহাবিশ্বের প্রসারণের হারের পরিমাপে সাম্প্রতিক অসংগতি ইঙ্গিত করছে স্ট্যান্ডার্ড মডেলের বাইরে এক নতুন পদার্থবিজ্ঞানের।

> *“মহাবিশ্বের সবচেয়ে অবোধগম্য বিষয় হলো এই যে মহাবিশ্ব আমাদের কাছে বোধগম্য।” — আলবার্ট আইনস্টাইন*

গ্যালিলিওর দূরবীন থেকে শুরু করে কৃষ্ণগহ্বরের তরঙ্গ মাপার লাইগো ইন্টারফেরোমিটার পর্যন্ত—পদার্থবিজ্ঞান হলো মানুষের অদম্য কৌতূহলের এক মহাকাব্য। মহাবিশ্বের চূড়ান্ত সত্যের পর্দা উন্মোচনের এই যাত্রা কেবল শুরু হলো।

Shakil Mahmud • Research Monograph

- **প্লাঙ্ক দৈর্ঘ্য:** $ell_P = sqrt frac hbar G c^3 approx ১.৬১৬ times ১০^{-৩৫} text মিটার$
- **প্লাঙ্ক সময়:** $t_P = sqrt frac hbar G c^5 approx ৫.৩৯১ times ১০^{-৪৪} text সেকেন্ড$
- **প্লাঙ্ক শক্তি:** $E_P approx ১.২২ times ১০^{১৯} text GeV$

প্লাঙ্ক দৈর্ঘ্যের চেয়ে ক্ষুদ্র পরিসরে হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতির কারণে কোয়ান্টাম শক্তির ঘনত্ব এত বেড়ে যায় যে স্থান-কাল মসৃণ চাদর না থেকে নিরবচ্ছিন্ন ক্ষুদ্রাকার ব্ল্যাক হোলের সৃষ্টি ও বিলুপ্তির এক উত্তাল **কোয়ান্টাম ফোমে (Quantum Foam)** পরিণত হয়।

সুপারস্ট্রিং থিওরি ও এম-থিওরি

১৯৮০-এর দশকে মাইকেল গ্রিন, জন শোয়ার্জ এবং এডওয়ার্ড উইটেন **সুপারস্ট্রিং তত্ত্বের** সূচনা করেন। এই তত্ত্বে শূন্য-মাত্রিক বিন্দু কণার বদলে মহাবিশ্বের মৌলিক উপাদান হলো প্লাঙ্ক দৈর্ঘ্যের একমাত্রিক কম্পনশীল কোয়ান্টাম তার বা স্ট্রিং। বিভিন্ন কম্পনের সুরই তৈরি করে বিভিন্ন কণা।

সবচেয়ে বিস্ময়কর বিষয় হলো, স্ট্রিং থিওরির সমীকরণে স্বতঃস্ফূর্তভাবে একটি ভরহীন স্পিন-২ কণার কম্পন জন্ম নেয়—যা অবিকল আইনস্টাইনের মহাকর্ষের বাহক **গ্র্যাভিটন (Graviton)**! স্ট্রিং তত্ত্বে মহাকর্ষ কোনো বাড়তি জিনিস নয়, এটি বাধ্যতামূলক।

১৯৯৫ সালে এডওয়ার্ড উইটেন প্রমাণ করেন যে পাঁচটি পৃথক দশ-মাত্রিক স্ট্রিং তত্ত্ব আসলে এগারো মাত্রার একটি একক সার্বজনীন কাঠামোর অংশ—যার নাম তিনি দেন **এম-থিওরি (M-Theory)**।

লুপ কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটি: স্বয়ং স্থানকেই কোয়ান্টায়িত করা

স্ট্রিং তত্ত্বের বিপরীতে কার্লো রোভেলি, লি স্মোলিন এবং অভয় আশতেকারের **লুপ কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটি (LQG)** কোনো পূর্বনির্ধারিত স্থানের ওপর নির্ভর করে না। এখানে স্থান নিজেই কোয়ান্টায়িত!

স্থান কোনো মসৃণ পাত্র নয়; বরং তা কোটি কোটি কোয়ান্টাম সুতোর জটিল গিঁট বা **স্পিন নেটওয়ার্ক (Spin Network)** দ্বারা বোনা এক চাদর। ক্ষেত্রফল ও আয়তনের অপারেটরের মান বিচ্ছিন্ন ধাপে নির্ধারিত হয়:

$$hat A proto ell_P^2 sum sqrt j(j+1)$$

স্থানের ক্ষুদ্র কণাগুলোর মাঝে কোনো ফাঁকা জায়গা নেই—এই কণাগুলোর সমষ্টিই হলো স্বয়ং মহাশূন্য।

হলোগ্রাফিক নীতি ও মালদাসেনার AdS/CFT রূপান্তর

কৃষ্ণগহ্বরের এনট্রপি নিয়ে জেরার্ড হুফট ও লিওনার্ড সাসকিন্ড প্রস্তাব করেন **হলোগ্রাফিক নীতি (Holographic Principle)**: একটি ত্রিমাত্রিক জগতের সমস্ত তথ্য তার দ্বিমাত্রিক সীমানার ওপর সম্পূর্ণ সংরক্ষিত থাকতে পারে।

১৯৯৭ সালে জুয়ান মালদাসেনা উদ্ভাবন করলেন বিজ্ঞানের সবচেয়ে সাড়াজাগানো সমীকরণ: **AdS/CFT রূপান্তর**। পাঁচ মাত্রার মহাকর্ষযুক্ত কোনো জগৎ তার চার মাত্রার সীমানায় মহাকর্ষহীন সাধারণ কোয়ান্টাম ফিল্ড থিওরির অবিকল সমতুল্য! আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান মনে করছে স্থান-কাল ও মহাকর্ষ হয়তো কোনো মৌলিক সত্য নয়, বরং কোয়ান্টাম এনট্যাঙ্গেলমেন্টের গভীর জাল থেকে প্রস্ফুটিত হওয়া এক মহাজাগতিক ভ্রম।

অদৃশ্য মহাবিশ্ব ও ২০২৬ সালের সীমান্ত

২০২৬ সালে দাঁড়িয়ে মহাজাগতিক পর্যবেক্ষণ আমাদের অহংকারকে চূর্ণ করে মনে করিয়ে দেয় যে আমরা মহাবিশ্বের কতটুকু জানি। আমরা চোখে যা দেখি—নক্ষত্র, গ্রহ, পরমাণু ও মানুষ—তা পুরো মহাবিশ্বের মোট শক্তির মাত্র **৪.৯%**!

- **ডার্ক ম্যাটার (২৬.৮%):** যা ছায়াপথগুলোকে ধরে রেখেছে কিন্তু আলোতে দৃশ্যমান নয়।
- **ডার্ক এনার্জি (৬৮.৩%):** যা পুরো মহাবিশ্বের স্থান-কালকে দ্রুততর গতিতে প্রসারিত করে চলেছে।
- **হাবল সংকট (Hubble Tension):** মহাবিশ্বের প্রসারণের হারের পরিমাপে সাম্প্রতিক অসংগতি ইঙ্গিত করছে স্ট্যান্ডার্ড মডেলের বাইরে এক নতুন পদার্থবিজ্ঞানের।

> *“মহাবিশ্বের সবচেয়ে অবোধগম্য বিষয় হলো এই যে মহাবিশ্ব আমাদের কাছে বোধগম্য।” — আলবার্ট আইনস্টাইন*

গ্যালিলিওর দূরবীন থেকে শুরু করে কৃষ্ণগহ্বরের তরঙ্গ মাপার লাইগো ইন্টারফেরোমিটার পর্যন্ত—পদার্থবিজ্ঞান হলো মানুষের অদম্য কৌতূহলের এক মহাকাব্য। মহাবিশ্বের চূড়ান্ত সত্যের পর্দা উন্মোচনের এই যাত্রা কেবল শুরু হলো।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "চূড়ান্ত সন্ধান — কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটি, হলোগ্রাফি এবং ২০২৬ সালের পদার্থবিজ্ঞান"। পদার্থবিজ্ঞানের মহাবিকাশ, খণ্ড ২০।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-physics-part-20-ultimate-quest-quantum-gravity-holography-2026-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

আকর গ্রন্থ ও গবেষণা সূত্র

নির্বাচিত গ্রন্থপঞ্জি

❖

এই মনোগ্রাফে আলোচিত তত্ত্ব, গাণিতিক প্রতিপাদন এবং ঐতিহাসিক বিশ্লেষণের ভিত্তি হিসেবে নিম্নলিখিত আকর গ্রন্থ ও প্রাথমিক গবেষণাপত্রসমূহ ব্যবহৃত হয়েছে:

Galilei, Galileo (1638). *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche Intorno a Due Nuove Scienze*. Elsevier, Leiden.

Newton, Isaac (1687). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Royal Society of London.

Carnot, Sadi (1824). *Réflexions sur la puissance motrice du feu*. Bachelier, Paris.

Maxwell, James Clerk (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Clarendon Press, Oxford.

Planck, Max (1900). *Ueber eine Verbesserung der Wienschen Spectralgleichung*. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, 2: 202–204.

Einstein, Albert (1916). *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. Annalen der Physik, 49: 769–822.

Weinberg, Steven (1995). *The Quantum Theory of Fields (Vols. I–III)*. Cambridge University Press.

লেখক পরিচিতি

লেখক পরিচিতি

❖

Shakil Mahmud

গবেষক, লেখক ও সফটওয়্যার প্রকৌশলী

শাকিল মাহমুদ একজন স্বাধীন গবেষক, লেখক ও সফটওয়্যার প্রকৌশলী। তাঁর প্রধান আগ্রহের বিষয় হলো তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞান, গণিতের ইতিহাস, আধুনিক ম্যাক্রোঅর্থনীতি, কম্পিউটিংয়ের বিবর্তন এবং স্থান-কালের দার্শনিক তাৎপর্য। তিনি জটিল দার্শনিক ও বৈজ্ঞানিক ধারণাকে গভীর ও সুললিত ভাষায় উপস্থাপন করতে পছন্দ করেন। তাঁর সার্বিক কাজ পাওয়া যাবে তাঁর ব্যক্তিগত গবেষণা পোর্টাল **shakilmahmud.com** এ।

COLOPHON

Typeset in EB Garamond (English) and Kohinoor Bangla / Noto Serif Bengali (Bengali).
Mathematical typesetting generated with Donald Knuth's TeX algorithms and KaTeX.
Published digitally as a monolithic research monograph by Shakil Mahmud Editorial Series.
Dhaka & Singapore • 2026 • https://shakilmahmud.com