Shakil Mahmud • Research Monograph

SHAKIL MAHMUD EDITORIAL & RESEARCH MONOGRAPHS

রসায়নের ইতিহাস

আদি মৌলবাদ ও মুসলিম আলকেমি থেকে পর্যায় সারণি, কোয়ান্টাম বন্ধন, ডিএনএ গঠন এবং ন্যানোম্যাটেরিয়ালের ২০ খণ্ডের এক প্রামাণ্য বৈজ্ঞানিক অভিযাত্রা।

SHAKIL MAHMUD

গবেষক ও লেখক

SHAKIL MAHMUD EDITORIAL & RESEARCH SERIES

প্রথম সংকলিত সংস্করণ • ঢাকা ও সিঙ্গাপুর • ২০২৬

রসায়নের ইতিহাস

আদি মৌলবাদ ও মুসলিম আলকেমি থেকে পর্যায় সারণি, কোয়ান্টাম বন্ধন, ডিএনএ গঠন এবং ন্যানোম্যাটেরিয়ালের ২০ খণ্ডের এক প্রামাণ্য বৈজ্ঞানিক অভিযাত্রা।

LIBRARY & CATALOGING-IN-PUBLICATION DATA

Title: রসায়নের ইতিহাস
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/chemistry/

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

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

আদি মৌলবাদ ও জাবির ইবনে হাইয়ানের আলকেমি পরীক্ষাগার থেকে শুরু করে লাভোয়াজিয়ের ভর সংরক্ষণ, মেন্ডেলিফের পর্যায় সারণি এবং আধুনিক আণবিক ন্যানোপ্রযুক্তি—রসায়নের ইতিহাস হলো বাস্তবতার গাঠনিক এককগুলোকে অনুধাবন ও রূপান্তরের এক প্রামাণ্য অভিযাত্রা। এই মনোগ্রাফের ২০টি অধ্যায়ে পদার্থের আদি রূপ থেকে আধুনিক কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা চালিত আণবিক প্রকৌশল পর্যন্ত সমগ্র বিবর্তন বিশ্লেষণ করা হয়েছে।

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 — পদার্থের আদি উৎস — এম্পিডোক্লিসের চার উপাদান, ডেমোক্রিটাসের পরমাণুবাদ ও শূন্যস্থান — 578 শব্দ
পদার্থের আদি উৎস — এম্পিডোক্লিসের চার উপাদান, ডেমোক্রিটাসের পরমাণুবাদ ও শূন্যস্থান

খণ্ড ২ — বাগদাদের অগ্নিকুণ্ড — জাবির ইবনে হাইয়ান, আলকেমি ডিস্টিলেশন ও সালফার-পারদ তত্ত্ব — 494 শব্দ
বাগদাদের অগ্নিকুণ্ড — জাবির ইবনে হাইয়ান, আলকেমি ডিস্টিলেশন ও সালফার-পারদ তত্ত্ব

খণ্ড ৩ — সংশয়ী রসায়নবিদ — রবার্ট বয়েল, যান্ত্রিক দর্শন ও আলকেমির অবসান — 504 শব্দ
সংশয়ী রসায়নবিদ — রবার্ট বয়েল, যান্ত্রিক দর্শন ও আলকেমির অবসান

খণ্ড ৪ — নিউম্যাটিক বিপ্লব — জোসেফ প্রিস্টলি, ডিফলজিস্টিকেটেড বায়ু ও গ্যাসের আবিষ্কার — 598 শব্দ
নিউম্যাটিক বিপ্লব — জোসেফ প্রিস্টলি, ডিফলজিস্টিকেটেড বায়ু ও গ্যাসের আবিষ্কার

খণ্ড ৫ — ভরের ভারসাম্য — অঁতোয়ান লাভোয়াজিয়ে, ফ্লজিস্টনের অবসান ও আধুনিক নামকরণ — 383 শব্দ
ভরের ভারসাম্য — অঁতোয়ান লাভোয়াজিয়ে, ফ্লজিস্টনের অবসান ও আধুনিক নামকরণ

দ্বিতীয় পর্যায়: মধ্যযুগীয় রূপান্তর

খণ্ড ৬ — পরমাণুর ওজন — জন ডাল্টন, নির্দিষ্ট অনুপাতের সূত্র ও আধুনিক রাসায়নিক পরমাণু — 395 শব্দ
পরমাণুর ওজন — জন ডাল্টন, নির্দিষ্ট অনুপাতের সূত্র ও আধুনিক রাসায়নিক পরমাণু

খণ্ড ৭ — কার্লসরুহের মিলনমেলা — আমেদিও অ্যাভোগাড্রো, স্তানিসলাও কানিজারো ও অণুর দিগন্ত — 474 শব্দ
কার্লসরুহের মিলনমেলা — আমেদিও অ্যাভোগাড্রো, স্তানিসলাও কানিজারো ও অণুর দিগন্ত

খণ্ড ৮ — মৌলের পর্যায়বৃত্ত স্থাপত্য — দিমিত্রি মেন্ডেলিফ, পর্যায় সূত্র ও একা-অ্যালুমিনিয়াম — 533 শব্দ
মৌলের পর্যায়বৃত্ত স্থাপত্য — দিমিত্রি মেন্ডেলিফ, পর্যায় সূত্র ও একা-অ্যালুমিনিয়াম

খণ্ড ৯ — রূপান্তরের অভিমুখ — জোসাইয়া উইলার্ড গিবস, রাসায়নিক তাপগতিবিদ্যা ও মুক্ত শক্তি — 370 শব্দ
রূপান্তরের অভিমুখ — জোসাইয়া উইলার্ড গিবস, রাসায়নিক তাপগতিবিদ্যা ও মুক্ত শক্তি

খণ্ড ১০ — অণুর গতিবেগ — সভান্তে আরহেনিয়াস, সক্রিয়করণ শক্তি ও রাসায়নিক গতিবিদ্যা — 376 শব্দ
অণুর গতিবেগ — সভান্তে আরহেনিয়াস, সক্রিয়করণ শক্তি ও রাসায়নিক গতিবিদ্যা

তৃতীয় পর্যায়: আধুনিক বিপ্লব ও বিজ্ঞান

খণ্ড ১১ — পরম শূন্যের শৃঙ্খলা — হেনরি মোজলি, এক্স-রে বর্ণালী ও পারমাণবিক সংখ্যার আবিষ্কার — 430 শব্দ
পরম শূন্যের শৃঙ্খলা — হেনরি মোজলি, এক্স-রে বর্ণালী ও পারমাণবিক সংখ্যার আবিষ্কার

খণ্ড ১২ — বন্ধনের স্থাপত্য — লাইনাস পলিং, কোয়ান্টাম অরবিটাল ও অণুর অনুরণন — 460 শব্দ
বন্ধনের স্থাপত্য — লাইনাস পলিং, কোয়ান্টাম অরবিটাল ও অণুর অনুরণন

Shakil Mahmud • Research Monograph

খণ্ড ১৩	জীবনের ইঞ্জিন — পিটার মিচেল, ক্যামিওসমোসিস ও এটিপির ঘূর্ণায়মান সংশ্লেষণ *জীবনের ইঞ্জিন — পিটার মিচেল, ক্যামিওসমোসিস ও এটিপির ঘূর্ণায়মান সংশ্লেষণ*	391 শব্দ
খণ্ড ১৪	দৈত্যাকার অণু — হারমান স্টডিনজার, ম্যাক্রোমলিকিউলার অনুকল্প ও পলিমার যুগ *দৈত্যাকার অণু — হারমান স্টডিনজার, ম্যাক্রোমলিকিউলার অনুকল্প ও পলিমার যুগ*	376 শব্দ
খণ্ড ১৫	বংশগতির আণবিক রহস্য — রোজালিন্ড ফ্র্যাঙ্কলিন, ওয়াটসন, ক্রিক ও ডিএনএ কোড *বংশগতির আণবিক রহস্য — রোজালিন্ড ফ্র্যাঙ্কলিন, ওয়াটসন, ক্রিক ও ডিএনএ কোড*	424 শব্দ

চতুর্থ পর্যায়: সমকালীন যুগ ও ভবিষ্যতের দিগন্ত

খণ্ড ১৬	আণবিক স্থপতি — রবার্ট বার্নস উডওয়ার্ড, মোট সংশ্লেষণ ও অরবিটাল প্রতিসাম্য *আণবিক স্থপতি — রবার্ট বার্নস উডওয়ার্ড, মোট সংশ্লেষণ ও অরবিটাল প্রতিসাম্য*	343 শব্দ
খণ্ড ১৭	যান্ত্রিক বন্ধন — সোভাজ, স্টডার্ট, ফেরিঙ্গা ও আগামীর আণবিক যন্ত্র *যান্ত্রিক বন্ধন — সোভাজ, স্টডার্ট, ফেরিঙ্গা ও আগামীর আণবিক যন্ত্র*	354 শব্দ
খণ্ড ১৮	রেটিকুলার স্ফটিক — ওমর ইয়াঘি, মেটাল-অরগানিক ফ্রেমওয়ার্ক ও মরুভূমির জল আহরণ *রেটিকুলার স্ফটিক — ওমর ইয়াঘি, মেটাল-অরগানিক ফ্রেমওয়ার্ক ও মরুভূমির জল আহরণ*	352 শব্দ
খণ্ড ১৯	কার্বনের সমতল জগত — আন্দ্রে গেইম, গ্রাফিন ও দ্বিমাত্রিক ন্যানোম্যাটেরিয়াল *কার্বনের সমতল জগত — আন্দ্রে গেইম, গ্রাফিন ও দ্বিমাত্রিক ন্যানোম্যাটেরিয়াল*	366 শব্দ
খণ্ড ২০	জেনারেটিভ অণু — আলফা ফোল্ড, কেমিক্যাল এআই ও উত্তর-প্রাকৃতিক পদার্থের নকশা *জেনারেটিভ অণু — আলফা ফোল্ড, কেমিক্যাল এআই ও উত্তর-প্রাকৃতিক পদার্থের নকশা*	529 শব্দ

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • প্রথম খণ্ড

পদার্থের আদি উৎস — এম্পিডোক্লিসের চার উপাদান, ডেমোক্রিটাসের পরমাণুবাদ ও শূন্যস্থান

পদার্থের আদি উৎস — এম্পিডোক্লিসের চার উপাদান, ডেমোক্রিটাসের পরমাণুবাদ ও শূন্যস্থান

578 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১: *আবদেরার ডেমোক্রিটাস: প্রাচীন পরমাণুবাদ ও বস্তুবাদের প্রথম দার্শনিক প্রবক্তা।*

মহাবিশ্বের প্রতিটি বস্তু নিরন্তর রূপান্তরের মধ্য দিয়ে চলেছে। কাঠ পুড়ে ছাই হয়; ভেজা বাতাসে লোহায় মরিচা ধরে; আঙুরের মিষ্টি রস গেঁজে ওঠে ঝাঁঝালো মদে। হাজার হাজার বছর আগে যখন মানব মস্তিষ্ক এই রূপান্তরগুলো প্রত্যক্ষ করেছিল, তখন এক গভীর দার্শনিক প্রশ্নের জন্ম হয়: যখন কোনো বস্তুর বাহ্যিক রূপ বদলে যায়, তখন কি তার ভেতরে কোনো অবিনশ্বর মৌলিক উপাদান অবশিষ্ট থাকে, নাকি প্রতি মুহূর্তে প্রকৃতিতে নতুন কিছুর সৃষ্টি ও ধ্বংস ঘটছে?

খ্রিস্টপূর্ব পঞ্চম শতকে গ্রিক উপনিবেশগুলোতে প্রাক-সক্রেটিস দার্শনিকরা এই অমীমাংসিত প্রশ্নের একটি ধর্মনিরপেক্ষ ও যৌক্তিক উত্তর খুঁজছিলেন। তাঁদের মধ্যে অন্যতম ছিলেন অ্যাক্রাগাসের **এম্পিডোক্লিস** (খ্রিস্টপূর্ব আনুমানিক ৪৯০–৪৩০ অব্দ)। তিনি পূর্ববর্তী থেলিসের জল-একত্ববাদ কিংবা অ্যানাক্সিমেনিসের বায়ু-তত্ত্বের সমন্বয় ঘটিয়ে প্রস্তাব করেন প্রকৃতির **চারটি মৌলিক উৎস** (*রাইজোমাটা*): মাটি, জল, বায়ু এবং আগুন। এম্পিডোক্লিসের মতে, এই চারটি উপাদান চিরন্তন, অনাদি ও অবিনশ্বর; এদের একটিকে অন্যটিতে রূপান্তর করা অসম্ভব। জগতে দৃশ্যমান সকল পরিবর্তন আসলে এই চারটি অপরিবর্তনযোগ্য উপাদানের যান্ত্রিক মিশ্রণ ও পৃথকীকরণের ফল মাত্র, যা পরিচালিত হয় দুটি বিপরীতমুখী শক্তি দ্বারা—প্রেম (যা উপাদানগুলোকে একত্রিত করে) এবং দ্বন্দ্ব (যা উপাদানগুলোকে বিচ্ছিন্ন করে)।

Shakil Mahmud • Research Monograph

ডেমোক্রিটাস ও পরমাণুবাদের বৈপ্লবিক সূচনা

এম্পিডোক্লিস যেখানে পদার্থকে অবিচ্ছিন্ন মাধ্যম হিসেবে দেখতেন, সেখানে তাঁর সমসাময়িক লুসিপাস এবং লুসিপাসের প্রতিভাধর শিষ্য আবদেরার **ডেমোক্রিটাস** (খ্রিস্টপূর্ব আনুমানিক ৪৬০–৩৭০ অব্দ) এমন এক ধারণার অবতারণা করেন যা আধুনিক পারমাণবিক পদার্থবিজ্ঞানকে দুই সহস্রাব্দ আগেই পূর্বাভাস দিয়েছিল। ডেমোক্রিটাস যুক্তি দেন, পদার্থকে যদি অসীম পর্যন্ত বিভাজন করা যেত, তবে শেষ পর্যন্ত পদার্থ রূপান্তরিত হতো কোনো শূন্যতায় অথবা আয়তনহীন বিন্দুতে—যেখান থেকে কোনো বাস্তব পদার্থ পুনর্গঠন করা সম্ভব নয়। অতএব, বিভাজনের একটি পরম সীমানা থাকতে হবে: এমন এক ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র কণা যাকে আর ভাঙা সম্ভব নয়। তিনি এই অবিভাজ্য কণার নাম দেন **অ্যাটোমস** (*ἄτομος*, যার অর্থ ‘যা কাটা যায় না’ বা ‘অবিভাজ্য’)।

> *“লোকমুখে যা মিষ্টি তা মিষ্টি, যা তিক্ত তা তিক্ত, যা উষ্ণ তা উষ্ণ, যা শীতল তা শীতল, যা বর্ণময় তা বর্ণময়; কিন্তু পরম সত্যের জগতে কেবল পরমাণু আর শূন্যস্থান ছাড়া কিছুই নেই।”*
> *— আবদেরার ডেমোক্রিটাস (ফ্র্যাগমেন্ট বি১২৫)*

ডেমোক্রিটাসের মতে, পরমাণুগুলো নিরেট, অভ্যন্তরীণ গুণহীন, এবং এদের আকার ও জ্যামিতিক গঠনে রয়েছে সীমাহীন বৈচিত্র্য। লোহার পরমাণুগুলো খাঁজকাটা ও আঁকড়াযুক্ত, ফলে তারা শক্তভাবে একে অপরকে আঁকড়ে ধরে কঠিন বস্তুতে পরিণত হয়; জলের পরমাণু মসৃণ ও গোলাকার, যার ফলে তারা বালুকণার মতো পরস্পরের ওপর দিয়ে পিছলে প্রবাহিত হয়। মিষ্টি স্বাদের খাবারে থাকে গোলাকার পরমাণু যা সংবেদনশীল অঙ্গকে তৃপ্তি দেয়, আর অ্যাসিড বা তিক্ত খাবারে থাকে তীক্ষ্ণ কাঁটার মতো পরমাণু। সবচেয়ে বৈপ্লবিক বিষয় হলো, ডেমোক্রিটাস পরমাণুর গতির জন্য কোনো ঐশ্বরিক হস্তক্ষেপের প্রয়োজনীয়তা অস্বীকার করেন: পরমাণুগুলো অসীম শূন্যস্থানে (*কেনন*) সম্পূর্ণ যান্ত্রিক সংঘাতের মাধ্যমে একে অপরের সাথে মিলিত হয়।

এরিস্টটলের প্রতিক্রিয়া ও দুই সহস্রাব্দের অচলাবস্থা

পরমাণুবাদের এই অসাধারণ অন্তর্দৃষ্টি পরবর্তীকালে এরিস্টটলের (খ্রিস্টপূর্ব ৩৮৪–৩২২ অব্দ) দার্শনিক কর্তৃত্বের কারণে প্রায় চাপা পড়ে যায়। এরিস্টটল পরমাণু এবং শূন্যস্থান উভয় ধারণাকেই কঠোরভাবে প্রত্যাখ্যান করেন। এরিস্টটলের বিখ্যাত নীতি ছিল ‘প্রকৃতি শূন্যস্থান ঘৃণা করে’ (*horror vacui*); শূন্যস্থানে কোনো ঘর্ষণ বা বাধা না থাকায় গতিবেগ অসীম হতে বাধ্য, যা এরিস্টটলের পদার্থবিদ্যায় এক অসম্ভব কূটাভাস। তিনি এম্পিডোক্লিসের চার উপাদানের তত্ত্বকে পরিমার্জন করে বলেন, সমস্ত পদার্থ তৈরি হয়েছে একটি আদি গুণহীন উপাদান (*প্রাইমা মেটেরিয়া*) দ্বারা, যার ওপর চারটি মৌলিক গুণের জোড়া প্রযুক্ত হয়: উষ্ণ ও শীতল, শুষ্ক ও আর্দ্র।

- **আগুন:** উষ্ণ + শুষ্ক
- **বায়ু:** উষ্ণ + আর্দ্র
- **জল:** শীতল + আর্দ্র
- **মাটি:** শীতল + শুষ্ক

যেহেতু উপাদানগুলো কেবল এই গুণগুলোর পরিবর্তনের মাধ্যমে নির্ধারিত হয়, তাই এরিস্টটল সিদ্ধান্ত নেন যে যেকোনো উপাদানকে অন্য উপাদানে রূপান্তর করা সম্ভব। ফুটন্ত জলকে শীতল করলে তার ‘উষ্ণ’ গুণটি ‘শীতল’ গুণে পরিণত হয়ে সাধারণ জলে রূপ নেয়; আবার তাকে উত্তাপ দিয়ে বাষ্পীভূত করলে তা বায়ুতে পরিণত হয়। এই ধারণা—যে যেকোনো ধাতুকে তার অভ্যন্তরীণ গুণের সামঞ্জস্য ঘটিয়ে সোনায় রূপান্তর করা সম্ভব—পরবর্তী দেড় হাজার বছর ধরে ইউরোপ, বাইজান্টাইন ও প্রাচ্যের আলকেমি চর্চার প্রধান তাত্ত্বিক হাতিয়ারে পরিণত হয়।

❦

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "পদার্থের আদি উৎস — এম্পিডোক্লিসের চার উপাদান, ডেমোক্রিটাসের পরমাণুবাদ ও শূন্যস্থান"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ১। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-01-roots-of-matter-empedocles-democritus-atomism-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দ্বিতীয় খণ্ড

বাগদাদের অগ্নিকুণ্ড — জাবির ইবনে হাইয়ান, আলকেমি ডিস্টিলেশন ও সালফার-পারদ তত্ত্ব

বাগদাদের অগ্নিকুণ্ড — জাবির ইবনে হাইয়ান, আলকেমি ডিস্টিলেশন ও সালফার-পারদ তত্ত্ব

494 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ২: *জাবির ইবনে হাইয়ান (গেবার): রসায়ন বিজ্ঞানের জনক ও পাতন প্রক্রিয়ার আবিষ্কারক।*

গ্রেকো-রোমান ধ্রুপদী যুগের পতন এবং আলেকজান্দ্রিয়ার সুবিশাল গ্রন্থাগার ভস্মীভূত হওয়ার পর পদার্থের প্রকৃতি সংক্রান্ত জ্ঞানচর্চা প্রায় হারিয়ে যেতে বসেছিল। কিন্তু অষ্টম থেকে ত্রয়োদশ শতাব্দীর মধ্যে বৈজ্ঞানিক অনুসন্ধানের কেন্দ্রবিন্দু নাটকীয়ভাবে স্থানান্তরিত হয় মুসলিম স্বর্ণযুগের প্রাণকেন্দ্রে: দামেস্ক, কায়রো এবং সর্বোপরি আব্বাসীয় খিলাফতের রাজধানী বাগদাদে। এখানে মুসলিম পণ্ডিতরা কেবল এরিস্টটল, গ্যালেন বা বোলসের গ্রিক পাণ্ডুলিপি অনুবাদ করেই ক্ষান্ত হননি; তাঁরা গড়ে তুলেছিলেন আধুনিক গবেষণাগার, রাসায়নিক উপাদানের ওজন পরিমাপের ব্যবস্থা এবং আলকেমিকে পরিণত করেছিলেন এক সুনির্দিষ্ট পরীক্ষামূলক বিজ্ঞানে।

এই রাসায়নিক বিপ্লবের অগ্রদূত ছিলেন **আবু মুসা জাবির ইবনে হাইয়ান** (আনুমানিক ৭২১–৮১৫ খ্রিস্টাব্দ), মধ্যযুগীয় ইউরোপে যিনি ল্যাটিন নাম **গেবার** হিসেবে পরিচিত। খলিফা হারুনুর রশিদের বারমাকি উজিরদের পৃষ্ঠপোষকতায় কুফা ও বাগদাদে কর্মরত জাবির রসায়নের জন্য এক আপসহীন বৈজ্ঞানিক নির্দেশিকা ঘোষণা করেছিলেন: *“রসায়ন চর্চায় সবচেয়ে অপরিহার্য শর্ত হলো হাতে-কলমে ব্যবহারিক কাজ ও পরীক্ষণ পরিচালনা করা; কারণ যিনি পরীক্ষা করেন না বা ব্যবহারিক কাজ বোঝেন না, তিনি এই জ্ঞানের ক্ষুদ্রতম ধাপেও পৌঁছাতে পারবেন না।”*

অ্যালেম্বিক পাতনযন্ত্র ও ফ্র্যাকশনাল ডিস্টিলেশন

জাবিরের সবচেয়ে অমর অবদান হলো রাসায়নিক গবেষণাগারের জন্য কাচপাত্র এবং পাতনযন্ত্রের নকশা ও মানদণ্ড প্রণয়ন। এর মধ্যে শীর্ষস্থানীয় ছিল **অ্যালেম্বিক** (আরবি: *আল-আনবিক*)। এটি তৈরি হয়েছিল একটি উত্তপ্ত বয়েলিং পাত্র (কিউকারবিট), বাষ্পকে ধারণ করার জন্য বাঁকানো ঢাকনা এবং তরলকে শীতল করে সংগ্রাহক পাত্রে নামিয়ে আনার একটি নল নিয়ে।

বালির কুন্ডলী (*স্যান্ড বাথ*) এবং জলের কুন্ডলী (*ওয়াটার বাথ*) ব্যবহারের মাধ্যমে তাপমাত্রাকে নিয়ন্ত্রিত করে জাবির পদার্থের স্ফুটনাঙ্কের পার্থক্যের ওপর ভিত্তি করে উদ্বায়ী উপাদান পৃথক করার পদ্ধতি (ফ্র্যাকশনাল ডিস্টিলেশন) নিখুঁত করেন। এর মাধ্যমে মুসলিম রসায়নবিদরা তৈরি করেন উচ্চমাত্রার অ্যালকোহল (*আল-কহল*), সুগন্ধি এসেনশিয়াল অয়েল এবং পেট্রোলিয়াম থেকে পরিশোধিত ন্যাফথা। আরও যুগান্তকারী ছিল উচ্চতাপে বিভিন্ন খনিজ ও লবণ পাতন করে মানব ইতিহাসের প্রথম শক্তিশালী খনিজ অ্যাসিড উৎপাদন:

- **সালফিউরিক অ্যাসিড (অয়েল অব ভিট্রিওল):** গ্রিন ভিট্রিওল বা আয়রন সালফেট ($FeSO_4cdot7H_2O$) পাতন করে সংগৃহীত।
- **নাইট্রিক অ্যাসিড (অ্যাকোয়া ফরটিস):** পটাসিয়াম নাইট্রেট বা সল্টপিটার (KNO_3) এবং অ্যালাম উত্তপ্ত করে প্রস্তুতকৃত।
- **অ্যাকোয়া রেজিয়া (অম্লরাজ):** নাইট্রিক ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের এক শক্তিশালী মিশ্রণ, যা রাজকীয় ধাতু সোনাকেও দ্রবীভূত করতে সক্ষম।

ধাতুর সালফার-পারদ তত্ত্ব

বিভিন্ন ধাতুর রূপান্তরের প্রক্রিয়াকে ব্যাখ্যা করার জন্য জাবির প্রস্তাব করেন বিখ্যাত **সালফার-পারদ তত্ত্ব**। এরিস্টটলের ভূতাত্ত্বিক বাষ্পীয় ধারণাকে সম্প্রসারিত করে জাবির বলেন, ভূগর্ভের প্রচণ্ড চাপে দুটি মৌলিক দার্শনিক নীতি স্ফটিকায়িত হয়ে ধাতুতে পরিণত হয়:

- **দার্শনিক সালফার:** যা ধারণ করে দাহ্য ক্ষমতা, উত্তাপ, উদ্বায়িতা ও লালচে বর্ণ।
- **দার্শনিক পারদ:** যা ধারণ করে তারল্য, নমনীয়তা, ধাতব উজ্জ্বলতা ও ঘনত্ব।

জাবিরের ধাতব তত্ত্বে পরিচিত সকল ধাতু—সোনা, রূপা, তামা, লোহা, টিন ও সীসা—এই দুটি দার্শনিক নীতির তারতম্য ও বিশুদ্ধতার ওপর ভিত্তি করে গড়ে উঠেছে। সোনা হলো নিখুঁত ভারসাম্য: সর্বোচ্চ বিশুদ্ধ সালফার এবং আদর্শ পারদের এক অতুলনীয় সংমিশ্রণ। সীসা বা লোহার মতো সস্তা ধাতুতে রয়েছে অতিরিক্ত ক্ষতিকর সালফার ও অপদ্রব্য। ফলে সীসাকে সোনায় রূপান্তর করা কোনো অলৌকিক জাদু নয়, বরং ধাতুর রোগ নিরাময়ের মতো একটি চিকিৎসা: উপযুক্ত এলিক্সির (*আল-ইকসির* বা পরশপাথর) প্রয়োগ করে অপদ্রব্য দূর করলেই তা নিখুঁত স্বর্ণে রূপান্তরিত হবে।

যদিও সীসাকে সোনায় রূপান্তর করার প্রচেষ্টা রাসায়নিকভাবে অসম্ভব প্রমাণিত হয়েছিল, তবুও এই নিরন্তর অনুসন্ধানের ফলে জন্ম নিয়েছিল শত শত ব্যবহারিক আবিষ্কার। জাবির, **আল-রাজি** এবং **ইবনে সিনা** কর্তৃক উদ্ভাবিত রাসায়নিক তালিকা, ঊর্ধ্বপাতন, দ্রবণ ও ক্রিস্টালাইজেশনের নীতিগুলোই পরবর্তীতে দ্বাদশ শতকে ল্যাটিন ভাষায় অনূদিত হয়ে ইউরোপের বৈজ্ঞানিক পুনর্জাগরণকে ত্বরান্বিত করেছিল।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "বাগদাদের অগ্নিকুণ্ড — জাবির ইবনে হাইয়ান, আলকেমি ডিস্টিলেশন ও সালফার-পারদ তত্ত্ব"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ২। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-02-furnace-of-baghdad-jabir-ibn-hayyan-distillation-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • তৃতীয় খণ্ড

সংশয়ী রসায়নবিদ — রবার্ট বয়েল, যান্ত্রিক দর্শন ও আলকেমির অবসান

সংশয়ী রসায়নবিদ — রবার্ট বয়েল, যান্ত্রিক দর্শন ও আলকেমির অবসান

504 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৩: *রবার্ট বয়েল: 'দ্য স্কেপটিক্যাল কেমিস্ট'-এর রচয়িতা ও আধুনিক রসায়ন পদ্ধতির প্রবর্তক।*

সপ্তদশ শতাব্দীর মাঝামাঝি সময়ে পশ্চিম ইউরোপে বৈজ্ঞানিক বিপ্লবের জয়গান বাজছিল। গ্যালিলিও দূরবীক্ষণ যন্ত্র দিয়ে পর্যবেক্ষণ করেছিলেন বৃহস্পতির উপগ্রহ; দেকার্ত প্রস্তাব করেছিলেন ঘূর্ণাবর্তের যান্ত্রিক মহাবিশ্ব; এবং উইলিয়াম হার্ভে আবিষ্কার করেছিলেন রক্ত সংবহনের মেকানিক্যাল নিয়ম। কিন্তু রসায়ন তখনও মধ্যযুগীয় রহস্যবাদের কুয়াশায় আচ্ছন্ন ছিল। প্যারাসেলসাসের অনুসারী চিকিৎসকরা সালফার, পারদ ও লবণের 'ট্রিয়া প্রাইমা'কে এক আধ্যাত্মিক সত্তা হিসেবে দেখতেন, আর বিশ্ববিদ্যালয়ের পণ্ডিতরা অন্ধভাবে এরিস্টটলের চার গুণের মহড়া দিতেন। বিজ্ঞানের এই অনিশ্চিত সন্ধিক্ষণে আবির্ভূত হন এক আইরিশ অভিজাত ও প্রতিভাধর গবেষক: **দ্য অনারেবল রবার্ট বয়েল** (১৬২৭–১৬৯১)।

অক্সফোর্ডে তাঁর প্রতিভাধর সহকারী **রবার্ট হুক**-এর সাথে মিলে বয়েল গবেষণায় দুটি বৈপ্লবিক হাতিয়ার যুক্ত করেন: যান্ত্রিক ভ্যাকুয়াম এয়ার পাম্প এবং **কর্পাসকুলার যান্ত্রিক দর্শন**। ১৬৬১ সালে বয়েল প্রকাশ করেন তাঁর অমর গ্রন্থ: *দ্য স্কেপটিক্যাল কেমিস্ট* (সংশয়ী রসায়নবিদ)। দার্শনিক সংলাপের আকারে রচিত এই বইটিতে বয়েল এরিস্টটলের চার উপাদান এবং আলকেমির রহস্যময় তত্ত্বের ওপর এক চরম বুদ্ধিবৃত্তিক আঘাত হানেন।

বিশ্লেষণের হাতিয়ার হিসেবে আগুনের ভ্রান্তি নিরসন

শত শত বছর ধরে আলকেমিস্টরা বিশ্বাস করতেন যে আগুন হলো উপাদান বিশ্লেষণের একমাত্র এবং পরম মাধ্যম; যেকোনো বস্তুকে উত্তপ্ত করলেই তা তার মৌলিক উপাদানে বিভক্ত হয়ে পড়ে। বয়েল পরীক্ষামূলক প্রমাণের মাধ্যমে এই বিশ্বাসের অসারতা প্রমাণ করেন। তিনি দেখান, কাঁচা কাঠ পোড়ালে ধোঁয়া (বায়ু), শিখা (আগুন), রস (জল) এবং ছাই (মাটি) তৈরি হয় ঠিকই—কিন্তু খাঁটি সোনা বা কাচকে প্রচণ্ড উত্তাপের চুল্লিতে ঘণ্টার পর ঘণ্টা রাখলেও তা কখনোই চার উপাদানে বিভক্ত হয় না। বয়েল যুক্তি দেন, আগুন কোনো নিরপেক্ষ বিশ্লেষক নয়; বরং প্রচণ্ড তাপীয় কম্পনের মাধ্যমে আগুন পদার্থের আণবিক বিন্যাস ওলটপালট করে সম্পূর্ণ নতুন যৌগ সৃষ্টি করে।

মৌলের আধুনিক বৈজ্ঞানিক সংজ্ঞা

রহস্যময় চার উপাদানকে চূর্ণ করার পর রবার্ট বয়েল রসায়ন বিজ্ঞানের ইতিহাসে প্রথমবারের মতো মৌলের এক পরীক্ষামূলক ও প্রায়োগিক সংজ্ঞা প্রদান করেন—যা আজও রসায়নের মূলভিত্তি:

> *“আমি মৌল বলতে বুঝি কিছু আদিম, সরল বা সম্পূর্ণরূপে অমিশ্রিত বস্তু; যা অন্য কোনো বস্তু থেকে তৈরি করা যায় না, কিংবা পরস্পর থেকেও সৃষ্টি হয় না, বরং যা মিশ্রিত হয়ে সমস্ত যৌগিক বস্তু তৈরি করে এবং অবশেষে যেখানে সমস্ত যৌগ বিশ্লিষ্ট হয়ে পৌঁছায়।”*
> *— রবার্ট বয়েল, দ্য স্কেপটিক্যাল কেমিস্ট (১৬৬১)*

এই সংজ্ঞার বৈপ্লবিক তাৎপর্য ছিল গভীর: মৌল আর কোনো বিমূর্ত দার্শনিক গুণ (যেমন ‘উষ্ণতা’ বা ‘আর্দ্রতা’) নয়। মৌল হলো এমন এক বাস্তব বস্তু যাকে পরীক্ষাগারের কোনো পরিচিত পদ্ধতির মাধ্যমে আর কোনো সরল উপাদানে বিভক্ত করা সম্ভব নয়। যতদিন পর্যন্ত সালফার বা তামাকণা ভেঙে অন্য কিছু তৈরি করা না যাবে, ততদিন তাকে একটি স্বাধীন মৌলিক পদার্থ হিসেবে গণ্য করতে হবে।

বয়েলের সূত্র ও কণার মেকানিক্স

বয়েল সমস্ত পদার্থকে ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র কণা বা ‘কর্পাসকল’ দ্বারা গঠিত মনে করতেন, যাদের আকার, আকৃতি ও গতি রয়েছে। অদৃশ্য এই কণাগুলোর আচরণ ব্যাখ্যা করতে বয়েল গ্যাসের ওপর মনোযোগ দেন। ১৬৬২ সালে পারদভর্তি জে-আকৃতির কাচনল ব্যবহার করে বয়েল আবদ্ধ বাতাসের চাপ এবং আয়তনের মধ্যকার ব্যস্তানুপাতিক সম্পর্ক আবিষ্কার করেন, যা **বয়েলের সূত্র** নামে অমর হয়ে আছে:

$$mathcal{P} cdot mathcal{V} = text{ধ্রুবক} quad (text{স্থিরতাপমাত্রায়})$$

চাপ দ্বিগুণ করলে আয়তন অর্ধেক হয়; চাপ অর্ধেক করলে আয়তন দ্বিগুণ হয়। বয়েল এই আচরণের ব্যাখ্যা দেন কর্পাসকুলার তত্ত্ব দিয়ে: বাতাস হলো ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র স্প্রিং-এর মতো কণার সমষ্টি, যাদের মাঝে রয়েছে প্রচুর ফাঁকা জায়গা। চাপ দিলে কণাগুলো পরস্পরের কাছাকাছি চলে আসে। নির্ভুল গণিত, পরীক্ষণ এবং পারমাণবিক মেকানিক্সের মেলবন্ধন ঘটিয়ে রবার্ট বয়েল আলকেমির কুসংস্কার থেকে রসায়নকে মুক্ত করে এক আধুনিক বিজ্ঞানে রূপান্তর করেন।

Shakil Mahmud • Research Monograph

❦

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "সংশয়ী রসায়নবিদ — রবার্ট বয়েল, যান্ত্রিক দর্শন ও আলকেমির অবসান"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ৩। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-03-sceptical-chymist-robert-boyle-mechanical-philosophy-bn/

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • চতুর্থ খণ্ড

নিউম্যাটিক বিপ্লব — জোসেফ প্রিস্টলি, ডিফলজিস্টিকেটেড বায়ু ও গ্যাসের আবিষ্কার

নিউম্যাটিক বিপ্লব — জোসেফ প্রিস্টলি, ডিফলজিস্টিকেটেড বায়ু ও গ্যাসের আবিষ্কার

598 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৪: *জোসেফ প্রিস্টলি: অক্সিজেন ও নিউম্যাটিক গ্যাসের আবিষ্কারক।*

প্রাচীনকাল থেকে শুরু করে মধ্যযুগ পর্যন্ত পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলকে একটি অবিভাজ্য ও একক উপাদান হিসেবে ভাবা হতো: “বায়ু”। বাতাসকে কোনো সক্রিয় রাসায়নিক উপাদান নয়, বরং জীবনের শ্বাসপ্রশ্বাস গ্রহণ এবং শব্দ সঞ্চালনের একটি নিষ্ক্রিয় মাধ্যম হিসেবে গণ্য করা হতো। বাতাস যে বিভিন্ন স্বতন্ত্র গ্যাসীয় উপাদানের মিশ্রণ হতে পারে—যার কোনোটি শ্বাসরোধকারী, কোনোটি অতিদাহ্য, আবার কোনোটি জীবনের জন্য অপরিহার্য—এমন ধারণা সপ্তদশ শতাব্দীর বিজ্ঞানীদের কাছে ছিল সম্পূর্ণ অকল্পনীয়। এই ভুল ধারণা ভাঙার ঐতিহাসিক বৈজ্ঞানিক অভিযানই রসায়নের ইতিহাসে **নিউম্যাটিক বিপ্লব** নামে খ্যাত।

নিউম্যাটিক রসায়নের সূচনা ঘটে ১৭৫০-এর দশকে স্কটিশ চিকিৎসক **জোসেফ ব্ল্যাক**-এর (১৭২৮–১৭৯৯) মাধ্যমে। ম্যাগনেসিয়াম কার্বনেট মৃদু তাপে উত্তপ্ত করে এবং নির্গত গ্যাসকে তরলের ওপর আবদ্ধ করে ব্ল্যাক আবিষ্কার করেন “স্থির বায়ু” বা কার্বন ডাই-অক্সাইড (CO_2)। সাধারণ বায়ুর বিপরীতে এই গ্যাস জ্বলন্ত মোমবাতি নিভিয়ে দিত এবং প্রাণীদের শ্বাসরোধ করত। এর কিছুদিন পর ইংরেজ বিজ্ঞানী **হেনরি ক্যাভেন্ডিশ** (১৭৩১–১৮১০) দস্তা ও লোহার ওপর সালফিউরিক অ্যাসিড ঢেলে এক অতি হালকা ও বিস্ফোরক গ্যাস পৃথক করেন, যার নাম তিনি দেন “দাহ্য বায়ু” বা হাইড্রোজেন (H_2)। বাতাস যে আর একক কোনো উপাদান নয়, তা সুস্পষ্ট হয়ে ওঠে।

Shakil Mahmud • Research Monograph

ফ্লজিস্টন তত্ত্বের কর্তৃত্ব

কিন্তু গবেষণাগারে একের পর এক নতুন গ্যাস আবিষ্কৃত হলেও তৎকালীন রসায়ন এক ভ্রান্ত ধারণায় আচ্ছন্ন ছিল: জার্মান রসায়নবিদ **গেয়র্গ আর্নস্ট স্টাল** (১৬৫৯–১৭৩৪) কর্তৃক প্রচারিত **ফ্লজিস্টন তত্ত্ব**। এই তত্ত্ব অনুসারে, সকল দাহ্য পদার্থ—কাঠকয়লা, গন্ধক, ফসফরাস এবং ধাতু—এর ভেতরে থাকে ‘ফ্লজিস্টন’ নামের এক ওজনহীন বা ঋণাত্মক ওজনের দাহ্য অগ্নি-উপাদান। যখন কাঠ পোড়ে বা ধাতুতে মরিচা ধরে, তখন সেই ফ্লজিস্টন মুক্ত হয়ে বায়ুমণ্ডলে মিশে যায়:

$$text{ধাতু} longrightarrow text{ধাতবছাই (ক্যালক্স)} + text{মুক্তফ্লজিস্টন}$$

বাতাস কেবল এই নির্গত ফ্লজিস্টনকে শুষে নেওয়ার একটি স্পঞ্জ হিসেবে কাজ করে। আবদ্ধ পাত্রে মোমবাতি নিভে গেলে ফ্লজিস্টনপন্থীরা দাবি করতেন বাতাস ফ্লজিস্টনে এতটাই পরিপূর্ণ হয়ে গেছে যে তা আর নতুন ফ্লজিস্টন গ্রহণ করতে পারছে না।

জোসেফ প্রিস্টলি ও আতশি কাচের পরীক্ষা

যিনি এই রহস্যের সমাধান উন্মোচন করেন, কিন্তু কৌতূহলজনকভাবে সারাজীবন ফ্লজিস্টন তত্ত্বের কট্টর সমর্থক ছিলেন, তিনি হলেন ইংরেজ বিজ্ঞানী **জোসেফ প্রিস্টলি** (১৭৩৩–১৮০৪)। লিডস শহরের এক মদের কারখানার পাশে বাস করার সুবাদে প্রিস্টলি গেঁজে ওঠা বিয়ারের ভ্যাট থেকে নির্গত কার্বন ডাই-অক্সাইড নিয়ে পরীক্ষা করতেন। তিনি তৈরি করেন সোডা ওয়াটার এবং জলের পরিবর্তে পারদ ব্যবহার করে এমন এক বায়ু-সংগ্রাহক ড্রাম তৈরি করেন যা জলে দ্রবীভূত হয় এমন গ্যাস (যেমন অ্যামোনিয়া, সালফার ডাই-অক্সাইড, হাইড্রোজেন ক্লোরাইড) সংগ্রহ করতে পারত।

১৭৭৪ সালের ১ আগস্ট উইল্টশায়ারের বাউডন হাউসের ল্যাবরেটরিতে প্রিস্টলি এক ঐতিহাসিক পরীক্ষা পরিচালনা করেন। ১২ ইঞ্চি ব্যাসের এক বিশাল আতশি কাচ দিয়ে তিনি সূর্যের তীব্র রশ্মিকে পারদের ওপর আবদ্ধ লাল রঙের পারদ-ভস্ম (মারকিউরিক অক্সাইড, HgO) এর ওপর কেন্দ্রীভূত করেন:

$$2HgO_{(s)} xrightarrow{Delta} 2Hg_{(l)} + O_{2(g)}$$

মুহূর্তের মধ্যে কাচের নলের গায়ে রূপালী পারদের ফোঁটা জমতে শুরু করে এবং ওপরে জমতে থাকে এক বর্ণহীন গ্যাস। প্রিস্টলি যখন এই গ্যাস পরীক্ষা করেন, তখন তিনি স্তম্ভিত হয়ে যান: একটি টিমটিমে জ্বলন্ত কাঠের কাঠি এই গ্যাসে প্রবেশ করানোর সাথে সাথে তা চোখ ধাঁধানো উজ্জ্বল শিখা নিয়ে দাউ দাউ করে জ্বলে ওঠে; এবং সাধারণ বাতাসের তুলনায় একটি ইঁদুর এই গ্যাসে দ্বিগুণ সময় বেঁচে থাকে। প্রিস্টলি নিজে যখন এই গ্যাস শ্বাস নিয়ে গ্রহণ করেন, তখন তিনি এক অসাধারণ ফুরফুরে অনুভূতি রেকর্ড করেন: *“কিছুক্ষণের জন্য আমার বুক অত্যন্ত হালকা ও সতেজ বোধ হয়েছিল... কিন্তু কে জানে ভবিষ্যতে এই বিশুদ্ধ বায়ু হয়তো ধনীদের এক বিলাসিতার বস্তুতে পরিণত হবে!”*

দুই তত্ত্বের ঐতিহাসিক সংঘাত

ফ্লজিস্টন তত্ত্বের মোহে অন্ধ হয়ে প্রিস্টলি এই নতুন গ্যাসের নাম দেন **ডিফলজিস্টিকেটেড বায়ু**। তিনি ভাবলেন, এই গ্যাসে ফ্লজিস্টন একেবারেই নেই বলেই এটি জ্বলন্ত বস্তু থেকে পাগলের মতো ফ্লজিস্টন চুষে নেয়। ১৭৭৪ সালের অক্টোবর মাসে প্রিস্টলি প্যারিস সফরে যান এবং এক নৈশভোজে ফরাসি অভিজাত রসায়নবিদ **অঁতোয়ান লাভোয়াজিয়ে**-এর সাথে দেখা করেন। সেখানে প্রিস্টলি তাঁর

নতুন গ্যাসের পরীক্ষার কথা সবিস্তারে বর্ণনা করেন। লাভোয়াজিয়ে গভীর মনোযোগ দিয়ে শোনেন—এবং মুহূর্তেই অনুধাবন করেন যা প্রিস্টলি দেখতে পাননি: এটি কোনো ‘ডিফলজিস্টিকেটেড বায়ু’ নয়, এটি হলো পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের প্রধান সক্রিয় অক্সিজেন উপাদান এবং রসায়ন বিজ্ঞানের বহু প্রতীক্ষিত বৈপ্লবিক চাবিকাঠি।

❦

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "নিউম্যাটিক বিপ্লব — জোসেফ প্রিস্টলি, ডিফলজিস্টিকেটেড বায়ু ও গ্যাসের আবিষ্কার"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ৪।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-04-pneumatic-revolution-joseph-priestley-oxygen-discovery-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • পঞ্চম খণ্ড

ভরের ভারসাম্য — অঁতোয়ান লাভোয়াজিয়ে, ফ্লজিস্টনের অবসান ও আধুনিক নামকরণ

ভরের ভারসাম্য — অঁতোয়ান লাভোয়াজিয়ে, ফ্লজিস্টনের অবসান ও আধুনিক নামকরণ

383 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ৫: *অঁতোয়ান লাভোয়াজিয়ে ও মারি-অ্যান লাভোয়াজিয়ে: ভর সংরক্ষণ সূত্র ও আধুনিক রসায়নের স্থপতি।*

বিজ্ঞানের ইতিহাসে অষ্টাদশ শতাব্দীর শেষভাগে সংঘটিত **রাসায়নিক বিপ্লবের** মতো নাটকীয় রূপান্তর খুব কমই দেখা যায়। ১৭৭৫ সালের পূর্বেও রসায়ন ছিল মূলত গুণগত বর্ণনামূলক এক বিভ্রান্তিকর বিদ্যা—যেখানে ছিল রহস্যময় ফ্লজিস্টনের আধিপত্য এবং অবৈজ্ঞানিক নামের বিশৃঙ্খলা। কিন্তু মাত্র পনেরো বছরের মধ্যে এক ফরাসি রাজকীয় রাজস্ব কর্মকর্তা ও গবেষক **অঁতোয়ান-লরেন্ট দ্য লাভোয়াজিয়ে** (১৭৪৩–১৭৯৪) এবং তাঁর প্রতিভাধর সহধর্মিণী ও চিত্রশিল্পী **মারি-অ্যান পলজ** (১৭৫৮–১৮৩৬) রসায়নকে একটি নির্ভুল, গাণিতিক এবং পরিমাণগত বিজ্ঞানে রূপান্তর করেন।

লাভোয়াজিয়ের প্রধান হাতিয়ার ছিল প্যারিসের দক্ষ কারিগরদের নির্মিত অতিসূক্ষ্ম **রাসায়নিক পাল্লা (ব্যালেন্স)**, যা মিলিগ্রামের ভগ্নাংশ পর্যন্ত ওজন নির্ভুলভাবে মাপতে পারত। পূর্ববর্তী গবেষকরা যেখানে কেবল রঙের পরিবর্তন বা বুদবুদ পর্যবেক্ষণ করতেন, লাভোয়াজিয়ে সেখানে বিক্রিয়ক, পাত্র, উত্তাপ এবং আবদ্ধ গ্যাস—প্রতিটি উপাদানের নিখুঁত ওজন লিপিবদ্ধ করতেন।

ফ্লজিস্টন তত্ত্বের ঐতিহাসিক অবসান

খোলা পাত্রে সীসা বা টিন পোড়ালে দেখা যেত উৎপন্ন ছাই বা ক্যালক্স ধাতুর চেয়ে ভারী। ফ্লজিস্টনপন্থীরা এই অসঙ্গতি ব্যাখ্যা করতে গিয়ে দাবি করতেন ফ্লজিস্টনের নাকি ‘ঋণাত্মক ওজন’ রয়েছে—যা নিউটনের মহাকর্ষীয় পদার্থবিদ্যার সুস্পষ্ট লঙ্ঘন। লাভোয়াজিয়ে একটি আবদ্ধ পদ্ধতির পরীক্ষার মাধ্যমে এই ভুলের চির অবসান ঘটান।

তিনি একটি নির্দিষ্ট ওজনের টিন নির্দিষ্ট পরিমাণ বাতাসসহ একটি কাচের রিটর্টে আবদ্ধ করে মুখ সিল করে দেন এবং সম্পূর্ণ ব্যবস্থার প্রাথমিক ওজন নেন। তীব্র উত্তাপে টিন পুড়ে সাদা পাউডারে পরিণত হয়। পাত্রটি খোলার পূর্বে পুনরায় ওজন মেপে দেখা যায় তার ওজন একবিন্দুও পরিবর্তন হয়নি—ঠিক **শূন্য**। কিন্তু যখনই তিনি কাচের মুখ ভাঙলেন, তীব্র শব্দে বাইরে থেকে বাতাস ভেতরে প্রবেশ করল। দেখা গেল, ধাতুটি বাতাসের যে সক্রিয় অংশ গ্রহণ করে ভারী হয়েছিল, পাত্রের বাতাস ঠিক সমপরিমাণ হালকা হয়েছিল। অর্থাৎ, দহন কোনো রহস্যময় ফ্লজিস্টনের নিষ্ক্রমণ নয়; দহন হলো বাতাসের এক সক্রিয় উপাদানের সাথে ধাতুর সরাসরি রাসায়নিক মিলন বা জারণ।

ভরের নিত্যতা সূত্র

এই আবদ্ধ সিস্টেমের পরীক্ষা থেকে লাভোয়াজিয়ে আধুনিক বিজ্ঞানের অন্যতম অমর সত্য প্রতিষ্ঠা করেন—**ভরের নিত্যতা বা সংরক্ষণ সূত্র**:

$$\mathit{summ}_{\text{বিক্রিয়ক}} = \mathit{summ}_{\text{উৎপাদ}}$$

> *“প্রকৃতিতে বা গবেষণাগারে কোনো বস্তুই আপনা-আপনি সৃষ্টি বা ধ্বংস হয় না; যেকোনো রাসায়নিক পরিবর্তনের পূর্বে ও পরে পদার্থের মোট ভর সর্বদা সমপরিমাণ ও অপরিবর্তিত থাকে।”*
> *— অঁতোয়ান লাভোয়াজিয়ে, ত্রেতে এলমেঁতের দ্য শিমি (১৭৮৯)*

১৭৮৯ সালে মারি-অ্যান পলজের চিত্রিত ও অনূদিত বিখ্যাত বই *ত্রেতে এলমেঁতের দ্য শিমি*-তে লাভোয়াজিয়ে শতাব্দীর প্রাচীন অবৈজ্ঞানিক পরিভাষাগুলো বাতিল করে দেন। ‘লেড সুগার’ পরিণত হলো লেড অ্যাসিটেটে, ‘মাখন অব অ্যান্টিমণি’ হলো অ্যান্টিমণি ট্রাইক্লোরাইড। হাজার বছর ধরে একক মৌলিক উপাদান ভাবা জলকে তিনি হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের যৌগ হিসেবে প্রমাণ করেন। ১৭৯৪ সালে ফরাসি বিপ্লবের সন্ত্রাসকালে গিলোটিনে লাভোয়াজিয়ের মর্মান্তিক মৃত্যু হলেও তাঁর প্রতিষ্ঠিত গাণিতিক ভিত্তি আধুনিক রসায়নের চিরন্তন ভাষারূপে টিকে রয়েছে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "ভরের ভারসাম্য — অঁতোয়ান লাভোয়াজিয়ে, ফ্লজিস্টনের অবসান ও আধুনিক নামকরণ"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ৫। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-05-balance-of-mass-antoine-lavoisier-chemical-revolution-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

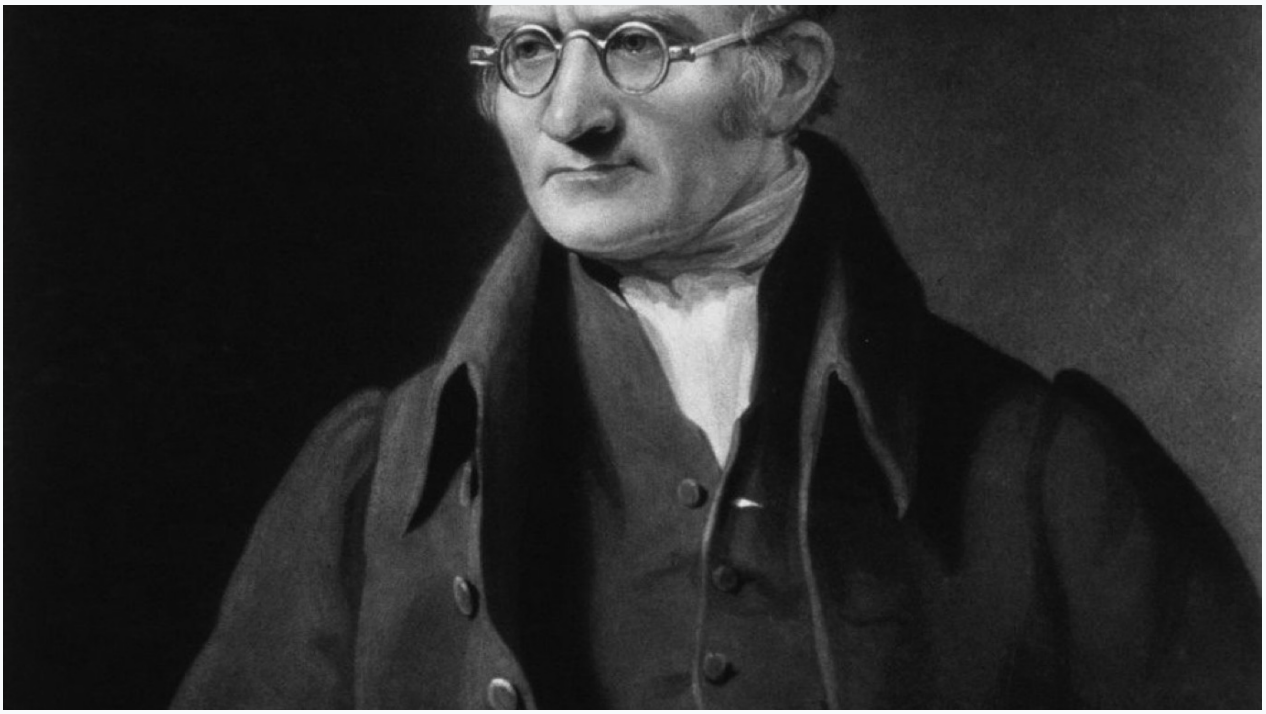
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ষষ্ঠ খণ্ড

পরমাণুর ওজন — জন ডাল্টন, নির্দিষ্ট অনুপাতের সূত্র ও আধুনিক রাসায়নিক পরমাণু

পরমাণুর ওজন — জন ডাল্টন, নির্দিষ্ট অনুপাতের সূত্র ও আধুনিক রাসায়নিক পরমাণু

395 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৬: *জন ডাল্টন: আধুনিক পরিমাণগত রাসায়নিক পরমাণুবাদের জনক।*

বাইশ শতকেরও বেশি সময় ধরে পরমাণুর ধারণা ছিল কেবল এক তাত্ত্বিক কল্পনা—যার কোনো গাণিতিক বা পরিমাপযোগ্য পরীক্ষামূলক ভিত্তি ছিল না। লাভোয়াজিয়ে ভরের নিত্যতা সূত্র প্রমাণ করেছিলেন এবং প্রাউস্ট প্রতিষ্ঠা করেছিলেন **নির্দিষ্ট অনুপাতের সূত্র** (একটি নির্দিষ্ট যৌগে উপাদানগুলো সর্বদা ওজনের নির্দিষ্ট অনুপাতে যুক্ত থাকে)। কিন্তু প্রকৃতি কেন এই কঠোর অনুপাত মেনে চলে, তার পেছনের কারণ কারও জানা ছিল না। এই রহস্যের দ্বার উন্মোচন করেন ম্যানচেস্টারের এক সাধারণ কোয়েকার স্কুলশিক্ষক: **জন ডাল্টন** (১৭৬৬–১৮৪৪)।

ডাল্টনের রসায়নে প্রবেশ ঘটেছিল আসলে **আবহাওয়া বিজ্ঞান** থেকে। বায়ুমণ্ডলের আর্দ্রতা ও বাষ্পীভবন পর্যবেক্ষণ করতে গিয়ে ডাল্টন লক্ষ্য করেন বাতাসের বিভিন্ন গ্যাস (নাইট্রোজেন, অক্সিজেন, কার্বন ডাই-অক্সাইড) ঘনত্বের তারতম্য সত্ত্বেও আলাদা স্তরে বিভক্ত না হয়ে সমানভাবে মিশে থাকে। এখান থেকেই ১৮০১ সালে তিনি ডাল্টনের আংশিক চাপের সূত্র আবিষ্কার করেন এবং সিদ্ধান্তে আসেন যে বিভিন্ন গ্যাসের কণার আকার ও ভর ভিন্ন ভিন্ন।

গুণানুপাত সূত্র

১৮০৩ সালে কার্বনের দুটি ভিন্ন গ্যাসীয় অক্সাইড (কার্বন মনোক্সাইড ও কার্বন ডাই-অক্সাইড) এবং নাইট্রোজেনের বিভিন্ন অক্সাইড বিশ্লেষণ করতে গিয়ে ডাল্টন এক যুগান্তকারী সত্য প্রত্যক্ষ করেন। নির্দিষ্ট পরিমাণ ১০০ গ্রাম কার্বনের সাথে যে পরিমাণ অক্সিজেন যুক্ত হয়, তার অনুপাত ছিল নিখুঁত পূর্ণসংখ্যা—ঠিক **১ : ২**। কার্বন মনোক্সাইডে ১০০ গ্রাম কার্বনের সাথে যুক্ত হয় ১৩৩ গ্রাম অক্সিজেন; আর কার্বন ডাই-অক্সাইডে যুক্ত হয় ২৬৬ গ্রাম অক্সিজেন (২৬৬/১৩৩ $=$ ২.০০)।

এটিই হলো রসায়নের বিখ্যাত **গুণানুপাত সূত্র**। ডাল্টন বুঝতে পারলেন, পদার্থ যদি অবিচ্ছিন্ন কোনো মাধ্যম হতো, তবে অনুপাত এমন সরল পূর্ণসংখ্যা হতে পারত না। এটি কেবল তখনই সম্ভব যখন মৌলগুলো গঠিত হয় কিছু বিচ্ছিন্ন, অবিভাজ্য একক কণা দিয়ে: যেখানে একটি কার্বন পরমাণুর সাথে একটি অক্সিজেন পরমাণু যুক্ত হয়ে কার্বন মনোক্সাইড ($C + O rightarrow CO$) তৈরি করে, এবং একটি কার্বনের সাথে দুটি অক্সিজেন পরমাণু যুক্ত হয়ে কার্বন ডাই-অক্সাইড ($C + 2O rightarrow CO_2$) গঠন করে। রাসায়নিক বিক্রিয়া হলো পূর্ণ অবিভাজ্য পরমাণুগুলোর স্রেফ পুনর্বিন্যাস মাত্র।

পারমাণবিক ভরের প্রথম তালিকা

১৮০৮ সালে প্রকাশিত তাঁর অমর গ্রন্থ *এ নিউ সিস্টেম অব কেমিক্যাল ফিলোসফি*-তে ডাল্টন মানব ইতিহাসের প্রথম **আপেক্ষিক পারমাণবিক ভরের তালিকা** প্রকাশ করেন। পরমাণু অত্যন্ত ক্ষুদ্র হওয়ায় তাদের একক ভর মাপা সম্ভব ছিল না; তাই ডাল্টন সবচেয়ে হালকা মৌল হাইড্রোজেনকে মানদণ্ড হিসেবে ১ ধরে ($H = ১.০$) অন্যান্য মৌলের আপেক্ষিক ভর গণনা করেন।

- **হাইড্রোজেন:** ১
- **কার্বন:** ৫ (পরবর্তীতে ১২)
- **নাইট্রোজেন:** ৫ (পরবর্তীতে ১৪)
- **অক্সিজেন:** ৭ (পরবর্তীতে ১৬)
- **গন্ধক:** ১৩ (পরবর্তীতে ৩২)

যদিও ডাল্টনের সরলতার অনুমানের কারণে জলের সংকেত তিনি লিখেছিলেন HO (আজকের H_2O-এর বদলে), তবুও তাঁর মূল ধারণা ছিল অনবদ্য। এই প্রথম পরমাণু কোনো অবাস্তব দার্শনিক কল্পনা থেকে মুক্তি পেয়ে পরিমাপযোগ্য ভরের এক বাস্তব ভৌত সত্তায় রূপান্তরিত হলো।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "পরমাণুর ওজন — জন ডাল্টন, নির্দিষ্ট অনুপাতের সূত্র ও আধুনিক রাসায়নিক পরমাণু"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ৬।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-06-weights-of-atoms-john-dalton-modern-chemical-atom-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • সপ্তম খণ্ড

কার্লসরুহের মিলনমেলা — আমেদিও অ্যাভোগাড্রো, স্তানিসলাও কানিজারো ও অণুর দিগন্ত

কার্লসরুহের মিলনমেলা — আমেদিও অ্যাভোগাড্রো, স্তানিসলাও কানিজারো ও অণুর দিগন্ত

474 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৭: *স্তানিসলাও কানিজারো: ১৮৬০ সালের কার্লসরুহে কংগ্রেসে অ্যাভোগাড্রোর আণবিক অনুকল্পের পুনরুজ্জীবক।*

ঊনবিংশ শতাব্দীর প্রথম ভাগে রসায়ন বিজ্ঞান এক চরম সংকট ও বিভ্রান্তির মুখে পড়ে। জন ডাল্টনের পরমাণুবাদ ইউরোপীয় বিজ্ঞানীদের মুগ্ধ করেছিল ঠিকই, কিন্তু এক অমীমাংসিত কূটাভাস এর অস্তিত্বকে হুমকির মুখে ফেলে দেয়। ১৮০৯ সালে ফরাসি রসায়নবিদ **জোসেফ লুই গে-লুসাক** (১৭৭৮–১৮৫০) গ্যাসীয় বিক্রিয়ার আয়তন মেপে এক আশ্চর্যজনক নিয়ম আবিষ্কার করেন: বিক্রিয়ক গ্যাসগুলো সরল পূর্ণসংখ্যার আয়তনে যুক্ত হয়। দুই আয়তন হাইড্রোজেন এবং এক আয়তন অক্সিজেন বিক্রিয়া করে ঠিক **দুই আয়তন জলীয় বাষ্প** তৈরি করে।

ডাল্টন গে-লুসাকের এই ফলাফল তীব্রভাবে প্রত্যাখ্যান করেন। ডাল্টনের যুক্তি ছিল: সমআয়তন গ্যাসে যদি সমসংখ্যক পরমাণু থাকে, তবে ১ আয়তন হাইড্রোজেন ও ১ আয়তন অক্সিজেনের মিলনে ১ আয়তন জল তৈরি হওয়া উচিত। সেখানে দুই আয়তন জলীয় বাষ্প তৈরি হতে গেলে অক্সিজেনের প্রতিটি পরমাণুকে মাঝখান থেকে দ্বিখণ্ডিত হতে হবে—যা পরমাণুবাদের মূল সংজ্ঞার (অবিভাজ্যতার) চরম বিরোধী!

অ্যাভোগাড্রোর অমর অনুকল্প (১৮১১)

১৮১১ সালে ইতালির তুরিন বিশ্ববিদ্যালয়ের গাণিতিক পদার্থবিদ্যার অধ্যাপক **আমেদিও অ্যাভোগাড্রো** (১৭৭৬–১৮৫৬) এক অসাধারণ অন্তর্দৃষ্টির মাধ্যমে এই সংকটের সমাধান করেন। তিনি ডাল্টনের দৃষ্টি এড়িয়ে যাওয়া একটি অতিসূক্ষ্ম পার্থক্য চিহ্নিত করেন: **পরমাণু** (মৌলের ক্ষুদ্রতম একক কণা) এবং **অণু** (গ্যাসের স্বাধীন অস্তিত্বশীল কণা, যা একাধিক পরমাণু যুক্ত হয়ে গঠিত হতে পারে)।

অ্যাভোগাড্রোর বিখ্যাত অনুকল্প ঘোষণা করে: **একই তাপমাত্রা ও চাপে সমআয়তনের সকল গ্যাসে সমান সংখ্যক অণু থাকে**:

$$V proptonquad(textস্থিরTtext ও P - textতে)$$

অ্যাভোগাড্রো আরও দুঃসাহসী প্রস্তাব দেন যে অক্সিজেন, হাইড্রোজেন ও নাইট্রোজেনের মতো সাধারণ গ্যাসীয় কণাগুলো প্রকৃতিতে একক পরমাণু হিসেবে নয়, বরং দ্বি-পরমাণুক অণু (H_2, O_2, N_2) হিসেবে অবস্থান করে। এই অনুকল্প প্রয়োগ করলেই গে-লুসাকের পরীক্ষার জট মুহূর্তেই খুলে যায়:

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} longrightarrow 2H_2O_{(g)}$$

দুই অণু হাইড্রোজেন এক অণু অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়া করে দুই অণু জলীয় বাষ্প তৈরি করে। এখানে কোনো পরমাণু ভাঙেনি; O_2 অণুর দুটি অবিভাজ্য অক্সিজেন পরমাণু দুটি পৃথক জলের অণুর মধ্যে ভাগ হয়ে গেছে মাত্র!

১৮৬০ সালের কার্লসরুহে সম্মেলন: রসায়নের নবজন্ম

দুর্ভাগ্যজনকভাবে, অ্যাভোগাড্রোর এই যুগান্তকারী তত্ত্ব প্রায় ৫০ বছর ধরে অবহেলিত ছিল। বার্জেলিয়াস ও ডাল্টনের মতো শীর্ষ বিজ্ঞানীরা সমধর্মী পরমাণুর বন্ধন মেনে নিতে পারেননি। ফলে ১৮৫০-এর দশকে রসায়নে চরম নৈরাজ্য দেখা দেয়: অ্যাসিটিক অ্যাসিডের ১৯টি ভিন্ন ভিন্ন সংকেত বাজারে প্রচলিত ছিল এবং বিজ্ঞানীরা জানতেন না অক্সিজেনের ভর ৮ নাকি ১৬, কিংবা কার্বনের ভর ৬ নাকি ১২।

এই বিভ্রান্তি দূর করতে ১৮৬০ সালের সেপ্টেম্বরে জার্মানির ব্যাডেন অঞ্চলের কার্লসরুহে শহরে বিশ্বের প্রথম আন্তর্জাতিক বিজ্ঞান সম্মেলন (**কার্লসরুহে কংগ্রেস**) অনুষ্ঠিত হয়। ১৪০ জন বিশ্বখ্যাত রসায়নবিদ যখন বাকবিতণ্ডায় লিপ্ত হয়ে অচলাবস্থার মুখে পড়েন, তখন সিসিলির প্রতিভাধর রসায়নবিদ **স্তানিসলাও কানিজারো** (১৮২৬–১৯১০) মঞ্চে ওঠেন। তিনি অ্যাভোগাড্রোর অনুকল্পকে ভিত্তি করে লেখা তাঁর বিখ্যাত পুস্তিকা বিতরণ করেন এবং প্রমাণ করেন যে বাষ্প ঘনত্বের মাধ্যমে আণবিক ভর নির্ণয় করলে রসায়নের সকল অসঙ্গতি দূর হয়ে যায়—অক্সিজেনের ভর নিশ্চিতভাবেই ১৬ এবং জলের সংকেত H_2O।

সম্মেলন শেষে বাড়ি ফেরার ট্রেনে কানিজারোর যুক্তি পড়ে বিজ্ঞানীদের চোখের পর্দা সরে যায়। সম্মেলনে উপস্থিত থাকা এক তরুণ রাশিয়ান রসায়নবিদ দিমিত্রি মেন্ডেলিফ পরবর্তীতে লিখেছিলেন: *“কানিজারোর বক্তব্য আমার মনে যে গভীর দাগ কেটেছিল তা আজও স্পষ্ট মনে আছে... যেন অন্ধকার ঘরে হঠাৎ আলোর বিচ্ছুরণ ঘটেছিল।”* কার্লসরুহেতে প্রতিষ্ঠিত এই নির্ভুল পারমাণবিক ভরই মেন্ডেলিফকে পর্যায় সারণি আবিষ্কারের পথ দেখিয়েছিল।

Shakil Mahmud • Research Monograph



সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "কার্লসরুহের মিলনমেলা — আমেদিও অ্যাভোগাড্রো, স্তানিসলাও কানিজারো ও অণুর দিগন্ত"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ৭। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-07-karlsruhe-reconciliation-avogadro-cannizzaro-molecules-bn/

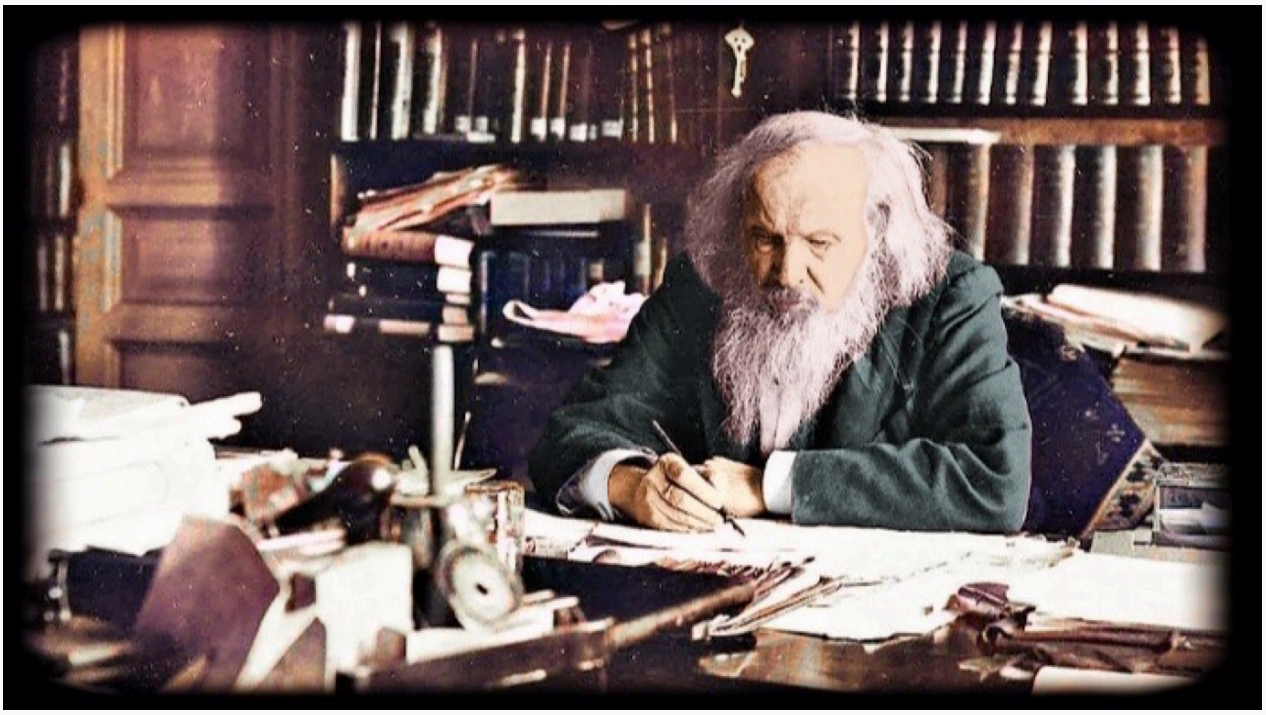
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • অষ্টম খণ্ড

মৌলের পর্যায়বৃত্ত স্থাপত্য — দিমিত্রি মেন্ডেলিফ, পর্যায় সূত্র ও একা-অ্যালুমিনিয়াম

মৌলের পর্যায়বৃত্ত স্থাপত্য — দিমিত্রি মেন্ডেলিফ, পর্যায় সূত্র ও একা-অ্যালুমিনিয়াম

533 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৮: *দিমিত্রি মেন্ডেলিফ: মৌলসমূহের পর্যায় সূত্র ও প্রথম পর্যায় সারণির স্রষ্টা।*

১৮৬০-এর দশকের শেষভাগে ইউরোপের গবেষণাগারগুলো তেষট্টিটি পৃথক মৌলিক পদার্থ আবিষ্কার ও তালিকাভুক্ত করেছিল। কিন্তু মৌলগুলোকে দেখে মনে হতো এক বিশৃঙ্খল জনতা: সোডিয়াম ও পটাসিয়ামের মতো অত্যন্ত সক্রিয় ক্ষার ধাতুগুলো একই পাঠ্যবইয়ে ছিল প্ল্যাটিনাম ও সোনার মতো শান্ত নিষ্ক্রিয় ধাতুর পাশে; বিষাক্ত সবুজ ক্লোরিন গ্যাস ছিল উজ্জ্বল রূপালী ফসফরাসের সাথে। এই তেষট্টিটি মৌল কি মহাবিশ্বের স্বাধীন কোনো দুর্ঘটনা, নাকি এদের বৈশিষ্ট্যের গভীরে কোনো ছন্দময় গাণিতিক সুসংগতি লুকিয়ে আছে?

এই প্রশ্নের উত্তর এসেছিল দূর সাইবেরিয়া থেকে আগত এক বিজ্ঞানীর কাছ থেকে। সেন্ট পিটার্সবার্গ বিশ্ববিদ্যালয়ের অধ্যাপক **দিমিত্রি ইভানোভিচ মেন্ডেলিফ** (১৮৩৪–১৯০৭) তাঁর শিক্ষার্থীদের জন্য *প্রিন্সিপলস অব কেমিস্ট্রি* নামের একটি পাঠ্যপুস্তক রচনা করছিলেন। মৌলগুলোকে একটি যৌক্তিক কাঠামোর আওতায় আনার তাগিদে মেন্ডেলিফ কার্ডবোর্ডের তাসের মতো ছোট ছোট কার্ডে প্রতিটি পরিচিত মৌলের নাম, পারমাণবিক ভর এবং যোজনী লিখে নেন। তিনি টেবিলের ওপর কার্ডগুলো সাজিয়ে এক রাসায়নিক তাসখেলা শুরু করেন—পারমাণবিক ভরের ঊর্ধ্বক্রম অনুসারে সাজানোর পাশাপাশি সমধর্মী যোজনীর মৌলগুলোকে একই কলামে মেলানোর চেষ্টা করেন।

Shakil Mahmud • Research Monograph

ঐতিহাসিক স্বপ্নদর্শন: ১৭ ফেব্রুয়ারি ১৮৬৯

১৮৬৯ সালের ১৭ ফেব্রুয়ারি রাতে এক দীর্ঘ গবেষণার পর পরিশ্রান্ত মেন্ডেলিফ তাঁর পড়ার টেবিলেই ঘুমিয়ে পড়েন। পরবর্তীতে তিনি তাঁর সহকর্মী আলেকজান্ডার ইনোস্ট্রানসেভকে বলেছিলেন: *“আমি স্বপ্নে এক পরিপূর্ণ সারণি দেখতে পেলাম যেখানে প্রতিটি মৌল তার সঠিক স্থানে বসে গেছে। ঘুম ভেঙেই আমি একটি কাগজে তা অবিলম্বে এঁকে ফেললাম।”*

মেন্ডেলিফ ঘোষণা করেন তাঁর অমর **পর্যায় সূত্র**: *মৌলসমূহের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মাবলি তাদের পারমাণবিক ভরের বৃদ্ধির সাথে সাথে পর্যায়ক্রমে আবর্তিত হয়।* মৌলগুলোকে পারমাণবিক ভরের ক্রমানুসারে সাজালে দেখা যায় নিয়মিত ব্যবধানে সমধর্মী বৈশিষ্ট্য ফিরে আসে: লিথিয়াম, সোডিয়াম, পটাসিয়াম একই সারিতে বসে যায়; আবার ফ্লোরিন, ক্লোরিন, ব্রোমিন, আয়োডিনের হ্যালোজেন পরিবার আরেকটি নির্দিষ্ট সারিতে চলে আসে।

ফাঁকা ঘরের দুঃসাহসিক প্রজ্ঞা

মেন্ডেলিফকে অন্য গবেষকদের (যেমন ডি চ্যানকুরতোয়া, নিউল্যান্ডস বা লোথার মেয়ার) চেয়ে এক অনন্য শিখরে পৌঁছে দিয়েছিল তাঁর **অতুলনীয় বুদ্ধিবৃত্তিক সাহস**। যখন কোনো মৌল তার কলামের বৈশিষ্ট্যের সাথে মিলছিল না, তখন মেন্ডেলিফ দুটি অবিশ্বাস্য কাজ করেছিলেন:

1. **তিনি তৎকালীন বিজ্ঞানীদের পারমাণবিক ভরকে ভুল বলেছিলেন:** তিনি জোর দিয়ে বলেন আয়োডিন ও টেলুরিয়ামের মাপ ভুল হয়েছে, এবং ইউরেনিয়াম, ইন্ডিয়াম ও বেরিলিয়ামের পারমাণবিক ভর সংশোধন করেন।
2. **অনাবিষ্কৃত মৌলের জন্য ফাঁকা জায়গা রেখেছিলেন:** জোর করে মৌল মেলানোর পরিবর্তে তিনি সারণিতে ফাঁকা ঘর রেখে ঘোষণা করেন যে ভবিষ্যতে এই ঘরগুলো পূরণ করার জন্য নতুন নতুন মৌল আবিষ্কৃত হবে।

একা-অ্যালুমিনিয়াম ও গ্যালিয়ামের বিজয়

সবচেয়ে বিস্ময়কর বিষয় হলো, মেন্ডেলিফ ফাঁকা ঘরগুলোর আশেপাশের মৌলের ভর ও ঘনত্বের গড় হিসাব করে তিনটি অনাবিষ্কৃত মৌলের নিখুঁত বৈশিষ্ট্যের ভবিষ্যদ্বাণী করেছিলেন—সংস্কৃত ‘একা’ (এক ধাপ নিচে) উপসর্গ যোগ করে তিনি এদের নাম দিয়েছিলেন **একা-বোরন**, **একা-অ্যালুমিনিয়াম** এবং **একা-সিলিকন**।

১৮৭১ সালে *একা-অ্যালুমিনিয়াম* সম্পর্কে মেন্ডেলিফ ভবিষ্যদ্বাণী করেন এর পারমাণবিক ভর হবে প্রায় ৬৮, ঘনত্ব হবে ৫.৯ গ্রাম/ঘনসেমি, গলনাঙ্ক হবে অত্যন্ত কম, এবং এর অক্সাইডের সংকেত হবে Ea_2O_3। মাত্র চার বছর পর ১৮৭৫ সালে ফরাসি রসায়নবিদ **পল-এমিল লেকক দ্য বোয়াবোদ্রাঁ** জিংক ব্লেন্ড আকরিক থেকে নতুন ধাতু আবিষ্কার করে ফ্রান্সের প্রাচীন নামানুসারে নাম দেন **গ্যালিয়াম**। যখন গ্যালিয়ামের ধর্ম মাপা হলো, তখন গোটা বৈজ্ঞানিক বিশ্ব চমকে উঠল:

- **পারমাণবিক ভর:** মেন্ডেলিফের ধারণা $approx ৬৮ \; longrightarrow$ গ্যালিয়াম: ৬৯.৭২
- **ঘনত্ব:** মেন্ডেলিফের ধারণা ৫.৯ $longrightarrow$ গ্যালিয়াম: ৫.৯১ গ্রাম/ঘনসেমি
- **গলনাঙ্ক:** অত্যন্ত কম $longrightarrow$ গ্যালিয়াম: ২৯.৭৬° সেলসিয়াস (হাতের তালুর উত্তাপেই গলে তরল হয়ে যায়!)
- **অক্সাইড:** $Ea_2O_3 \; longrightarrow$ গ্যালিয়াম অক্সাইড: Ga_2O_3

১৮৭৯ সালে স্ক্যান্ডিয়াম (একা-বোরন) এবং ১৮৮৬ সালে জার্মানিয়াম (একা-সিলিকন) আবিষ্কৃত হয়ে মেন্ডেলিফের ভবিষ্যদ্বাণীকে অক্ষরে অক্ষরে সত্য প্রমাণ করার পর বিজ্ঞান সমাজে আর কোনো সন্দেহ অবশিষ্ট রইল না। পর্যায় সারণি কেবল মানুষের তৈরি কোনো তালিকা নয়, এটি ছিল পদার্থের পরম রূপ অনুধাবনে প্রকৃতির নিজস্ব মাস্টার লেজার।



*সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "মৌলের পর্যায়বৃত্ত স্থাপত্য — দিমিত্রি মেন্ডেলিফ, পর্যায় সূত্র ও একা-অ্যালুমিনিয়াম"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ৮।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-08-architecture-of-elements-dmitri-mendeleev-periodic-law-bn/*

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • নবম খণ্ড

রূপান্তরের অভিমুখ — জোসাইয়া উইলার্ড গিবস, রাসায়নিক তাপগতিবিদ্যা ও মুক্ত শক্তি

রূপান্তরের অভিমুখ — জোসাইয়া উইলার্ড গিবস, রাসায়নিক তাপগতিবিদ্যা ও মুক্ত শক্তি

370 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ৯: *জোসাইয়া উইলার্ড গিবস: রাসায়নিক তাপগতিবিদ্যা ও মুক্ত শক্তির প্রতিষ্ঠাতা।*

ঊনবিংশ শতাব্দীর মাঝামাঝি সময়ে রসায়নবিজ্ঞান পদার্থের সংযুক্তি ও গঠন নিখুঁতভাবে আয়ত্ত করেছিল: ডাল্টন পরমাণুর ভর মেপেছিলেন, অ্যাভোগাড্রো অণু গণনা করেছিলেন এবং মেন্ডেলিফ সাজিয়েছিলেন পর্যায় সারণি। কিন্তু রাসায়নিক বিক্রিয়ার কেন্দ্রীয় প্রশ্নটি তখনও অমীমাংসিত ছিল: **কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া আদৌ কেন ঘটে, এবং কীসের ভিত্তিতে স্বতঃস্ফূর্ত রূপান্তরের দিক নির্ধারিত হয়?**

প্রাথমিক যুগের থার্মোকেমিস্টরা মনে করতেন কেবল তাপোৎপাদী বিক্রিয়াগুলোই (Delta H < 0) স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটতে পারে। কিন্তু প্রকৃতি প্রতিনিয়ত এই ধারণার ভুল প্রমাণ করছিল: অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট জলে দ্রবীভূত করলে দ্রবণ বরফের মতো শীতল হয়ে পড়ে (তাপশোষী বিক্রিয়া), অথচ বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটে। স্পষ্টতই, কেবল এনথালপি বা তাপ নির্গমন দিয়ে প্রকৃতির রূপান্তরের চালিকাশক্তি ব্যাখ্যা করা অসম্ভব ছিল।

ইয়েলের নিভৃতচারী বিজ্ঞানী: জোসাইয়া উইলার্ড গিবস

এই মহাজাগতিক রহস্যের সমাধান কোনো ইউরোপীয় রাজকীয় ল্যাবরেটরি থেকে আসেনি, এসেছিল যুক্তরাষ্ট্রের কানেকটিকাটের ইয়েল বিশ্ববিদ্যালয়ের এক অন্তর্মুখী গণিতজ্ঞের কাছ থেকে: **জোসাইয়া উইলার্ড গিবস** (১৮৩৯–১৯০৩)। ১৮৭৬ থেকে ১৮৭৮ সালের মধ্যে কানেকটিকাট একাডেমির জার্নালে গিবস প্রকাশ করেন তাঁর তিনশত পৃষ্ঠার অমর তাত্ত্বিক গবেষণা: *“অন দ্য ইকুইলিব্রিয়াম অব হেটেরোজেনিয়াস সাবস্ট্যান্সেস”* (বিষম পদার্থের সাম্যাবস্থা)।

গিবস তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র (শক্তির নিত্যতা) এবং রুডলফ ক্লসিয়াসের দ্বিতীয় সূত্রকে (বিচ্ছিন্ন ব্যবস্থার এন্ট্রপি সর্বদা বৃদ্ধি পায়) রসায়নে প্রয়োগ করেন। তিনি বুঝতে পেরেছিলেন স্থির তাপমাত্রা ও চাপে পরিচালিত গবেষণাগার, জীবকোষ বা বায়ুমণ্ডলের স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়ার দিক নির্ধারিত হয় এমন এক থার্মোডাইনামিক বিভব দ্বারা—যা আজ **গিবস মুক্ত শক্তি** ($mathcalG$) নামে খ্যাত:

$$Delta mathcal{G} = Delta mathcal{H} – mathcal{T} Delta mathcal{S}$$

এখানে $DeltamathcalH$ হলো এনথালপির পরিবর্তন (বিনিময়কৃত তাপ), $mathcalT$ হলো কেলভিন স্কেলে পরম তাপমাত্রা এবং $DeltamathcalS$ হলো এন্ট্রপির পরিবর্তন (অণুর বিশৃঙ্খলা ও শক্তির বিস্তৃতি)। গিবস গাণিতিকভাবে প্রমাণ করেন একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটতে পারে কেবল এবং কেবল তখনই যদি:

$$Delta mathcal{G} < 0$$

রাসায়নিক বিভব ও দশা সূত্র

গিবস উদ্ভাবন করেন **রাসায়নিক বিভব** (mu_i)-এর ধারণা। রাসায়নিক বিভব কাজ করে পদার্থের ‘থার্মোডাইনামিক ভোল্টেজ’ হিসেবে। যেভাবে উচ্চ তাপমাত্রা থেকে নিম্ন তাপমাত্রায় তাপ প্রবাহিত হয়, এবং উচ্চ ভোল্টেজ থেকে নিম্ন ভোল্টেজে তড়িৎ প্রবাহিত হয় —ঠিক একইভাবে উচ্চ রাসায়নিক বিভবের অঞ্চল থেকে নিম্ন রাসায়নিক বিভবের দিকে পদার্থ স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিক্রিয়া ও স্থানান্তরিত হয়। যখন উভয় দিকের রাসায়নিক বিভব সমান হয়ে যায় ($mu_{text{বিক্রিয়ক}} = mu_{text{উৎপাদ}}$), তখন বিক্রিয়াটি নিখুঁত **সাম্যাবস্থায়** ($DeltamathcalG = 0$) উপনীত হয়।

পাশাপাশি গিবস আবিষ্কার করেন তাঁর বিখ্যাত **দশা সূত্র**: F = C – P + 2। বিশুদ্ধ গাণিতিক যুক্তির মাধ্যমে গিবস রাসায়নিক তাপগতিবিদ্যা, ধাতুর মিশ্রণ ও আধুনিক ম্যাটেরিয়াল সায়েন্সের এক দুর্ভেদ্য ভিত্তি স্থাপন করে যান।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "রূপান্তরের অভিমুখ — জোসাইয়া উইলার্ড গিবস, রাসায়নিক তাপগতিবিদ্যা ও মুক্ত শক্তি"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ৯।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-09-direction-of-change-gibbs-chemical-thermodynamics-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দশম খণ্ড

অণুর গতিবেগ — সভান্তে আরহেনিয়াস, সক্রিয়করণ শক্তি ও রাসায়নিক গতিবিদ্যা

অণুর গতিবেগ — সভান্তে আরহেনিয়াস, সক্রিয়করণ শক্তি ও রাসায়নিক গতিবিদ্যা

376 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১০: *সভান্তে আরহেনিয়াস: রাসায়নিক গতিবিদ্যা, সক্রিয়করণ শক্তি ও বিক্রিয়া হারের সমীকরণের উদ্ভাবক।*

গহনার বাক্সে সাজিয়ে রাখা এক টুকরো হীরা তাপগতিবিদ্যার দৃষ্টিতে গ্রাফাইটের চেয়ে অস্থিতিশীল। গিবস মুক্ত শক্তির হিসাব অনুযায়ী হীরার কার্বন পরমাণুগুলোর সাধারণ পেন্সিলের গ্রাফাইটে রূপান্তরিত হওয়ার এক তীব্র স্বতঃস্ফূর্ত প্রবণতা রয়েছে ($Deltamathcal{G}^circ = -২.৯textkJ/mol$)। অথচ শত কোটি বছর পার হয়ে গেলেও হীরা কখনোই গ্রাফাইটে পরিণত হয় না। কেন? কারণ তাপগতিবিদ্যা কেবল বিক্রিয়ার গন্তব্য জানায়, কিন্তু সেই গন্তব্যে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে তা জানায় না। রসায়নে সময়ের এই অধীশ্বর হলো **রাসায়নিক গতিবিদ্যা (কেমিক্যাল কাইনেটিক্স)**।

ঊনবিংশ শতাব্দীর শেষভাগে এই সময়ের রহস্য উন্মোচন করেন সুইডিশ বিজ্ঞানী **সভান্তে অগাস্ট আরহেনিয়াস** (১৮৫৯–১৯২৭)। উপসালা বিশ্ববিদ্যালয়ে ডক্টরেট গবেষণায় তিনি প্রথম প্রস্তাব করেন যে জলে লবণ দ্রবীভূত হলে তা অটুট অণু হিসেবে নয়, বরং ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িদাহিত **আয়ন** হিসেবে বিশ্লিষ্ট হয় ($NaClrightarrow Na^+ + Cl^-$)। রক্ষণশীল অধ্যাপকরা পরমাণুর এমন তড়িদাহিত ধারণায় ক্ষুব্ধ হয়ে তাঁকে সর্বনিম্ন পাসের নম্বর দিয়েছিলেন—অথচ পরবর্তীতে ১৯০৩ সালে এই আয়ন তত্ত্বের জন্যই তিনি রসায়নে নোবেল পুরস্কার অর্জন করেন।

সক্রিয়করণ শক্তির আবিষ্কার

১৮৮৯ সালে আরহেনিয়াস এক বিস্ময়কর বিভ্রান্তির ওপর দৃষ্টি দেন: তাপমাত্রা মাত্র ১০ ডিগ্রি সেলসিয়াস বৃদ্ধি করলেই যেকোনো সাধারণ রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিবেগ দ্বিগুণ বা তিনগুণ হয়ে যায় কেন? অথচ গতিবিদ্যার হিসাব মতে ১০ ডিগ্রি তাপমাত্রা বাড়ালে অণুগুলোর গড় বেগ বাড়ে মাত্র ১ থেকে ২ শতাংশ!

আরহেনিয়াস বুঝতে পেরেছিলেন সাধারণ আণবিক সংঘর্ষ বিক্রিয়া ঘটাতে পারে না। প্রতি সেকেন্ডে ট্রিলিয়ন ট্রিলিয়ন বার অণুগুলো একে অপরকে আঘাত করলেও তাদের বেশিরভাগই স্রেফ স্থিতিস্থাপকভাবে পিছলে যায়। বিক্রিয়া ঘটার জন্য সংঘর্ষরত অণুগুলোকে একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম শক্তির বাধা অতিক্রম করতে হয়—যাকে বলা হয় **সক্রিয়করণ শক্তি** ($mathcalE_a$)। বিক্রিয়কগুলোকে একটি দুর্গম পর্বতমালা পার হয়ে তবেই উৎপাদ হিসেবে নেমে আসতে হয়।

আরহেনিয়াসের সমীকরণ

পরীক্ষামূলক তথ্য এবং বোল্টজম্যানের পরিসংখ্যানকে একীভূত করে আরহেনিয়াস প্রতিষ্ঠা করেন ভৌত বিজ্ঞানের অন্যতম অমর সূত্র —**আরহেনিয়াসের সমীকরণ**:

$$k = mathcalA, e^{-fracmathcalE_amathcalRmathcalT}$$

এখানে:

- k হলো বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক।
- $mathcalA$ হলো কম্পাঙ্ক গুণক (সংঘর্ষের সংখ্যা ও দিকবিন্যাস)।
- $mathcalE_a$ হলো সক্রিয়করণ শক্তি (জুল/মোল)।
- $mathcalR$ হলো সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক (৮.৩১৪$textJ/molcdottextK$)।
- $mathcalT$ হলো কেলভিন স্কেলে তাপমাত্রা।

সূচকীয় পদ $e^{-mathcalE_a/mathcalRmathcalT}$ নির্দেশ করে অণুগুলোর মধ্যে কত ভগ্নাংশের কাছে সক্রিয়করণ বাধা পার হওয়ার মতো পর্যাপ্ত শক্তি রয়েছে। যেহেতু এটি তাপমাত্রার ওপর সূচকীয়ভাবে নির্ভরশীল, তাই সামান্য উত্তাপেই বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী অণুর সংখ্যা বিপুলভাবে বৃদ্ধি পায়। কেন দেশলাই কাঠিতে ঘর্ষণ দিলে আগুন জ্বলে, কেন রেফ্রিজারেটর খাবার নষ্ট হওয়া বিলম্বিত করে, এবং কীভাবে জীবদেহের এনজাইম সক্রিয়করণ শক্তি কমিয়ে বিক্রিয়ার গতি লক্ষ গুণ বাড়িয়ে দেয়—তার রহস্য উন্মোচিত হয় এই সমীকরণের মাধ্যমে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "অণুর গতিবেগ — সভান্তে আরহেনিয়াস, সক্রিয়করণ শক্তি ও রাসায়নিক গতিবিদ্যা"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ১০।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-10-speed-of-molecules-arrhenius-chemical-kinetics-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • একাদশ খণ্ড

পরম শৃঙ্খলা — হেনরি মোজলি, এক্স-রে বর্ণালী ও পারমাণবিক সংখ্যার আবিষ্কার

পরম শৃঙ্খলা — হেনরি মোজলি, এক্স-রে বর্ণালী ও পারমাণবিক সংখ্যার আবিষ্কার

430 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১১: *হেনরি মোজলি: এক্স-রে বর্ণালীবীক্ষণের মাধ্যমে পারমাণবিক সংখ্যার আবিষ্কারক।*

দিমিত্রি মেন্ডেলিফের পর্যায় সারণি রসায়নকে আলোকিত করেছিল ঠিকই, কিন্তু এর গভীরে এক হতাশাজনক কুটাভাস লুকিয়ে ছিল। মেন্ডেলিফ মৌলগুলোকে সাজিয়েছিলেন **পারমাণবিক ভরের** ক্রমানুসারে। কিন্তু কিছু ক্ষেত্রে কঠোরভাবে পারমাণবিক ভর অনুসরণ করলে পর্যায় সারণির পরিবারগুলো এলোমেলো হয়ে যেত। টেলুরিয়ামের পারমাণবিক ভর (১২৭.৬) আয়োডিনের (১২৬.৯) চেয়ে বেশি হওয়া সত্ত্বেও রাসায়নিক ধর্মের কারণে টেলুরিয়ামকে আগে বসাতে হতো। আর্গনের ভর (৩৯.৯৫) সক্রিয় ক্ষার ধাতু পটাসিয়ামের (৩৯.১০) চেয়ে বেশি; কিন্তু ভর মেনে চললে একটি নিষ্ক্রিয় গ্যাসকে ক্ষার ধাতুর সারিতে ঠেলে দিতে হতো। বিজ্ঞানীরা বাধ্য হয়ে হাত দিয়ে এগুলো উল্টে দিতেন, কিন্তু কোনো তাত্ত্বিক ব্যাখ্যা তাঁদের জানা ছিল না।

এই রহস্যের যবনিকা পতন ঘটান ম্যানচেস্টার বিশ্ববিদ্যালয়ে আর্নেস্ট রাদারফোর্ডের ল্যাবরেটরিতে কর্মরত এক তরুণ ব্রিটিশ পদার্থবিদ: **হেনরি গুইন জেফ্রিস মোজলি** (১৮৮৭–১৯১৫)। মাত্র পঁচিশ বছর বয়সে মোজলি বিজ্ঞানের ইতিহাসের অন্যতম দুঃসাহসিক গবেষণায় হাত দেন।

এক্স-রে বর্ণালীবীক্ষণ ও মোজলির সূত্র

ম্যাক্স ফন লাউয়ে ও ব্র্যাগ পিতা-পুত্রের ক্রিস্টাল ডিফ্রেকশন আবিষ্কারের পর মোজলি লক্ষ্য করেন ক্যাথোড রশ্মির তীব্র ইলেকট্রন কোনো ধাতব লক্ষ্যবস্তুকে আঘাত করলে ধাতু থেকে নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বৈশিষ্ট্যপূর্ণ **এক্স-রে বর্ণালী রেখা** নিঃসৃত হয়—যা প্রতিটি ধাতুর জন্য একান্তই নিজস্ব ফিঙ্গারপ্রিন্ট।

১৯১৩–১৯১৪ সালে মোজলি একটি ভ্যাকুয়াম টিউবের ভেতর অ্যালুমিনিয়াম (১৩) থেকে সোনা (৭৯) পর্যন্ত ডজন ডজন ধাতব পাতের ওপর ক্যাথোড রশ্মি নিক্ষেপ করেন এবং পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড ক্রিস্টাল দিয়ে বিচ্ছুরিত এক্স-রে ফোটোগ্রাফিক প্লেটে রেকর্ড করেন।

মোজলি যখন নিঃসৃত এক্স-রে তরঙ্গের কম্পাঙ্কের বর্গমূল ($sqrtnu$) বনাম মৌলের অবস্থানের ছক তৈরি করলেন, তখন পারমাণবিক ভরের মতো কোনো আঁকাবাঁকা রেখা বের হলো না—বেরিয়ে এলো এক নিখুঁত, জাদুকরী সরলরেখা:

$$sqrt{nu} = mathcal{C} cdot (Z – sigma)$$

এটিই হলো পদার্থবিজ্ঞানের বিখ্যাত **মোজলির সূত্র**। মোজলি ঘোষণা করলেন এই Z কোনো সাধারণ আনুমানিক সংখ্যা নয়; এটি হলো পরমাণুর নিউক্লিয়াসে থাকা ধনাত্মক চার্জের পরম বাস্তব সংখ্যা—যাকে আমরা আজ বলি **পারমাণবিক সংখ্যা** (প্রোটন সংখ্যা):

> *“পরমাণুর ভেতর এমন একটি মৌলিক ভৌত সত্তা রয়েছে, যা এক মৌল থেকে পরবর্তী মৌলে এক একক করে নিখুঁতভাবে বৃদ্ধি পায়। এই রাশিটি পরমাণুর কেন্দ্রীয় ধনাত্মক নিউক্লিয়াসের আধান ছাড়া আর কিছুই হতে পারে না।”*
> *— হেনরি মোজলি (ফিলোসফিক্যাল ম্যাগাজিন, ১৯১৩)*

মোজলির এই আবিষ্কার পর্যায় সারণির সমস্ত অসঙ্গতি মুহূর্তেই মুছে দিল। টেলুরিয়াম ($Z = ৫২$) স্বাভাবিকভাবেই আয়োডিনের ($Z = ৫৩$) আগে বসে গেল; আর্গন ($Z = ১৮$) স্থান নিল পটাসিয়ামের ($Z = ১৯$) পূর্বে। মোজলি প্রমাণ করলেন হাইড্রোজেন ($Z = ১$) থেকে ইউরেনিয়াম ($Z = ৯২$) পর্যন্ত প্রকৃতিতে ঠিক এবং কেবল ৯২টি মৌল থাকা সম্ভব। তিনি ৪৩, ৬১, ৭২ ও ৭৫ নম্বরের অনাবিষ্কৃত ফাঁকা ঘরগুলো সুনির্দিষ্টভাবে চিহ্নিত করে যান। প্রথম বিশ্বযুদ্ধে স্বেচ্ছাসেবী হিসেবে যোগ দিয়ে ১৯১৫ সালের আগস্টে গ্যালিপোলির রণাঙ্গনে মাত্র সাতাশ বছর বয়সে এক স্নাইপারের গুলিতে মোজলি শহীদ হন। তাঁর অকালমৃত্যুতে নোবেলজয়ী রবার্ট মিলিকান লিখেছিলেন: *“বিজ্ঞানের ইতিহাসে সবচেয়ে দূরদর্শী ও নিখুঁত গবেষণার মাধ্যমে মাত্র ছাব্বিশ বছরের এক যুবক এমন এক জানালা খুলে দিয়েছিলেন যা দিয়ে আমরা পরমাণুর অন্তর্জগতকে প্রত্যক্ষ করতে পারি।”*

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "পরম শৃঙ্খলা — হেনরি মোজলি, এক্স-রে বর্ণালী ও পারমাণবিক সংখ্যার আবিষ্কার"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ১১।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-11-true-order-henry-moseley-x-ray-atomic-number-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

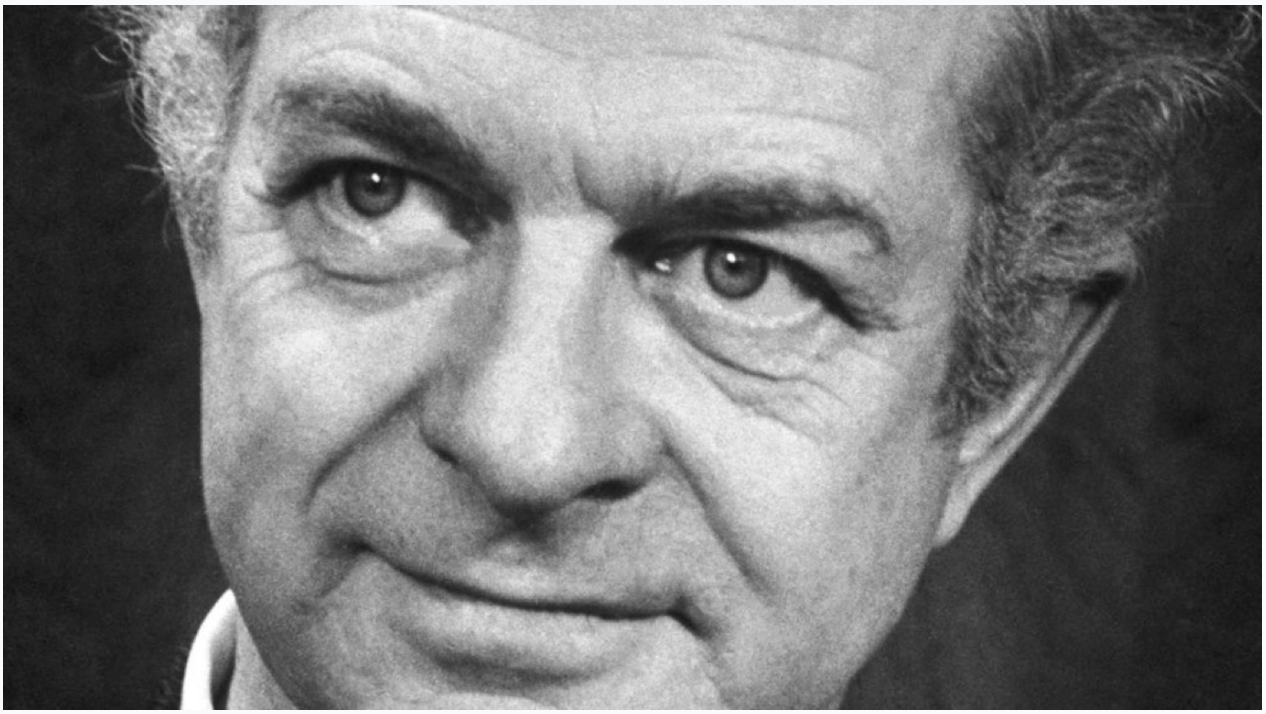
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • দ্বাদশ খণ্ড

বন্ধনের স্থাপত্য — লাইনাস পলিং, কোয়ান্টাম অরবিটাল ও অণুর অনুরণন

বন্ধনের স্থাপত্য — লাইনাস পলিং, কোয়ান্টাম অরবিটাল ও অণুর অনুরণন

460 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১২: *লাইনাস পলিং: কোয়ান্টাম রাসায়নিক বন্ধন ও অরবিটাল সংকরায়নের রূপকার।*

১৯২০-এর দশকের শেষভাগে কোয়ান্টাম বিপ্লব পদার্থবিজ্ঞানকে বদলে দিয়েছিল: নিলস বোর পরমাণুকে কোয়ান্টায়িত করেছিলেন, দ্য ব্রগলি তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা উন্মোচন করেছিলেন এবং এরউইন শ্রোডিঙ্গার লিখেছিলেন তাঁর অমর তরঙ্গ সমীকরণ ($hatmathcal{H}psi = mathcal{E}psi$)। কিন্তু রসায়ন তখনও কোয়ান্টাম বলবিদ্যা থেকে বিচ্ছিন্ন ছিল। রসায়নবিদরা লুইস ডট কাঠামোর মাধ্যমে শেয়ারকৃত ইলেকট্রন জোড়া আঁকতেন ঠিকই, কিন্তু গভীর মেকানিক্যাল প্রশ্নের উত্তর কারও জানা ছিল না: কার্বন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস $1s^2 2s^2 2p^2$ হওয়া সত্ত্বেও মিথেনে কীভাবে চারটি সমান ও অভিন্ন বন্ধন নিয়ে ১০৯.৫ ডিগ্রি কোণে চতুস্তলকীয় জ্যামিতি গঠন করে? বেঞ্জিন বলয় কেন অসম্ভব স্থিতিশীল? পরমাণুর এই **রাসায়নিক বন্ধন** আসলে কী?

কোয়ান্টাম পদার্থবিজ্ঞান এবং রসায়নকে একীভূত করার এই মহান দায়িত্ব পালন করেছিলেন ক্যালিফোর্নিয়া ইনস্টিটিউট অব টেকনোলজির এক তরুণ ও দূরদর্শী বিজ্ঞানী: **লাইনাস কার্ল পলিং** (১৯০১–১৯৯৪)। তরঙ্গ বলবিদ্যা ও ত্রিমাত্রিক স্থানিক জ্যামিতির নিখুঁত সমন্বয় ঘটিয়ে পলিং ১৯৩১ থেকে ১৯৩৯ সালের মধ্যে প্রকাশ করেন তাঁর যুগান্তকারী গবেষণাপত্রমালা—যার চূড়ান্ত সংকলন ছিল তাঁর অমর গ্রন্থ *দ্য নেচার অব দ্য কেমিক্যাল বন্ড*।

অরবিটাল সংকরায়ন: কার্বনের জ্যামিতি

জৈব রসায়নের প্রধান রহস্য ছিল মিথেনে (CH_4) কার্বনের চতুস্তলকীয় গঠন। সাধারণ কার্বন পরমাণুর শেষ কক্ষপথে থাকে একটি গোলাকার $2s$ অরবিটাল এবং দুটি ডাম্বেল আকৃতির $2p$ অরবিটাল (p_x, p_y), যেখানে একটি p অরবিটাল সম্পূর্ণ ফাঁকা। এই মৌলিক অরবিটালগুলো সরাসরি হাইড্রোজেনের সাথে যুক্ত হলে কার্বনের কেবল দুটি বন্ধন ৯০ ডিগ্রি কোণে তৈরি হওয়ার কথা ছিল—যা বাস্তব মিথেনের চারটি সমান শক্তিশালী ১০৯.৫ ডিগ্রি বন্ধনের সাথে সম্পূর্ণ সাংঘর্ষিক।

পলিং কোয়ান্টাম মেকানিক্সের **লিনিয়ার সুপারপজিশন** নীতির মাধ্যমে এই রহস্যের সমাধান করেন। তিনি দেখান, পরমাণুর পারমাণবিক তরঙ্গ ফাংশনগুলো পরস্পর মিশ্রিত হয়ে সম্পূর্ণ নতুন দিকমুখী হাইব্রিড অরবিটাল তৈরি করতে পারে। একটি $2s$ এবং তিনটি $2p$ অরবিটাল একত্রিত হয়ে সৃষ্টি করে চারটি সমতুল্য ও অত্যন্ত শক্তিশালী sp^3 **সংকর অরবিটাল**—যা ত্রিমাত্রিক স্থানে একটি নিয়মিত চতুস্তলকের চারটি শীর্ষবিন্দুর দিকে প্রসারিত হয়:

$$psi_{sp^3} = frac12left(psi_spmpsi_{p_x}pmpsi_{p_y}pmpsi_{p_z}right)$$

এই সংকরায়ন নিউক্লীয় অক্ষ বরাবর সর্বোচ্চ অরবিটাল ওভারল্যাপ নিশ্চিত করে শক্তিশালী সিগমা ($sigma$) বন্ধন তৈরি করে, যা সকল জৈব অণুর মৌলিক জ্যামিতিক ভিত্তি।

আণবিক অনুরণন ও তড়িৎ ঋণাত্মকতা

পলিং এরপর সমাধান করেন **বেঞ্জিন** বলয়ের (C_6H_6) রহস্য। কেকুলে প্রস্তাব করেছিলেন যে বেঞ্জিন দুটি কাঠামোর মধ্যে দ্রুত দুলতে থাকে। পলিং কোয়ান্টাম মেকানিক্স দিয়ে প্রমাণ করেন যে বেঞ্জিন কোনো দ্রুত রূপান্তরশীল ব্যবস্থা নয়; বরং বেঞ্জিনের প্রকৃত অবস্থা হলো একাধিক কাল্পনিক কাঠামোর এক অবিভাজ্য ও স্থায়ী কোয়ান্টাম **অনুরণন হাইব্রিড (রেজোন্যান্স)**:

$$Psi_{textবেঞ্জিন} = c_1psi_{textকেকুলে১} + c_2psi_{textকেকুলে২} + dots$$

এই রেজোন্যান্সের ফলে বেঞ্জিনের পাই-ইলেকট্রনগুলো সম্পূর্ণ বলয়ে ছড়িয়ে পড়ে (ডিলোকালাইজড হয়), যা অণুটিকে বিপুল অতিরিক্ত তাপগতিবিদ্যীয় স্থিতিশীলতা (প্রায় ১৫০ kJ/mol অনুরণন শক্তি) প্রদান করে এবং কার্বন-কার্বন ছয়টি বন্ধনকেই সমদৈর্ঘ্যের (১.৩৯$textAA$) বানিয়ে দেয়।

পাশাপাশি রাসায়নিক বন্ধনের মেরুকরণ পরিমাপ করতে পলিং প্রণয়ন করেন **পলিং তড়িৎ ঋণাত্মকতা স্কেল**। বন্ধন আর কোনো শতভাগ বিশুদ্ধ আয়নিক বা কোভ্যালেন্ট বিভাজনে আবদ্ধ রইল না, বরং তা পরিণত হলো তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্যের এক অবিচ্ছিন্ন বর্ণালীতে। আণবিক স্থাপত্যে কোয়ান্টাম মেকানিক্সের এই অমর প্রয়োগের জন্য লাইনাস পলিং ১৯৫৪ সালে রসায়নে নোবেল পুরস্কার অর্জন করেন।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "বন্ধনের স্থাপত্য — লাইনাস পলিং, কোয়ান্টাম অরবিটাল ও অণুর অনুরণন"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ১২।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-12-architecture-of-bond-linus-pauling-quantum-orbitals-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ত্রয়োদশ খণ্ড

জীবনের ইঞ্জিন — পিটার মিচেল, ক্যামিওসমোসিস ও এটিপির ঘূর্ণায়মান সংশ্লেষণ

জীবনের ইঞ্জিন — পিটার মিচেল, ক্যামিওসমোসিস ও এটিপির ঘূর্ণায়মান সংশ্লেষণ

391 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১৩: *পিটার মিচেল: ক্যামিওসমোটিক কাপলিং ও কোষীয় শক্তির এটিপি সিন্থেসিস আবিষ্কারক।*

আপনার বেঁচে থাকার প্রতিটি সেকেন্ডে আপনার শরীর একটি নির্দিষ্ট অণু বিপুল পরিমাণে খরচ ও পুনরুৎপাদন করছে: **অ্যাডিনোসিন ট্রাইফসফেট** বা এটিপি (ATP)। একজন সুস্থ মানুষ দৈনিক প্রায় ৪০ কিলোগ্রাম এটিপি খরচ করে এবং পুনরায় তৈরি করে; আর ভারী শারীরিক পরিশ্রমে এই হার মিনিটে আধা কিলোগ্রাম পর্যন্ত পৌঁছায়। জীবনের ‘সার্বজনীন শক্তির মুদ্রা’ হিসেবে পরিচিত এই এটিপি পেশির সংকোচন, প্রোটিন তৈরি, স্নায়ুর সংকেত এবং কোষীয় সকল কাজ পরিচালনা করে। কিন্তু এই বিপুল পরিমাণ এটিপি উৎপাদনের পেছনে জৈব রাসায়নিক মেকানিজম কী—তা কয়েক দশক ধরে বিজ্ঞানের সর্বশ্রেষ্ঠ অমীমাংসিত রহস্য ছিল।

১৯৪০ ও ৫০-এর দশকে শীর্ষ প্রাণরসায়নবিদরা একটি কাল্পনিক উচ্চ-শক্তি মধ্যবর্তী যৌগ “$simX$”-এর সন্ধান করছিলেন, যা খাদ্যের জারণ থেকে শক্তি গ্রহণ করে সরাসরি ADP-কে ATP-তে রূপান্তরিত করবে বলে মনে করা হতো। কিন্তু বহু বছর ধরে লাখ লাখ ডলার খরচ করেও এই কাল্পনিক যৌগের কোনো হদিস মিলল না।

গ্লিন হাউসের দূরদর্শী বিজ্ঞানী: পিটার মিচেল

বিজ্ঞানের এই বন্ধ দুয়ার উন্মোচন করেন এক ব্যতিক্রমী ব্রিটিশ বিজ্ঞানী: **পিটার ডেনিস মিচেল** (১৯২০–১৯৯২)। প্রাতিষ্ঠানিক অনড়তায় বিরক্ত হয়ে মিচেল এডিনবার্গ বিশ্ববিদ্যালয় ত্যাগ করে কর্নওয়ালের এক নির্জন ম্যানর হাউস 'গ্লিন হাউস'-এ নিজস্ব ল্যাবরেটরি প্রতিষ্ঠা করেন। ১৯৬১ সালে *নেচার* জার্নালে তিনি প্রকাশ করেন তাঁর বৈপ্লবিক **ক্যামিওসমোটিক অনুকল্প**।

মিচেল প্রস্তাব করেন যে কোষের শক্তি স্থানান্তর কোনো সাধারণ জলীয় দ্রবণের রাসায়নিক বিক্রিয়া নয়; এটি হলো কোষীয় মেমব্রেন বা ঝিল্লির ভেতর দিয়ে পরিচালিত এক **দিকমুখী ভৌত-তড়িৎ প্রক্রিয়া** (মাইটোকনড্রিয়ার অন্তঃঝিল্লি বা ব্যাকটেরিয়ার প্লাজমা মেমব্রেন)।

প্রোটন চালিকা শক্তি ও আণবিক ঘূর্ণায়মান মোটর

শ্বসন প্রক্রিয়ায় খাদ্যের ইলেকট্রন যখন বিভিন্ন পরিবাহকের মধ্য দিয়ে অক্সিজেনের দিকে ধাবিত হয়, তখন মুক্ত শক্তিকে কাজে লাগিয়ে মাইটোকনড্রিয়ার ভেতর থেকে বাইরে হাইড্রোজেন আয়ন (প্রোটন, H^+) পাম্প করা হয়। এর ফলে মেমব্রেনের দুই পাশে জন্ম নেয় এক প্রচণ্ড তড়িৎ-রাসায়নিক বিভব—**প্রোটন চালিকা শক্তি** ($Deltap$):

$$Delta p = Delta psi – frac{২.৩০৩ , mathcal{R} mathcal{T}}{mathcal{F}} Delta text{pH}$$

এখানে $Deltapsi$ হলো মেমব্রেন ভোল্টেজ (সাধারণত প্রায় ১৬০–১৮০ মিলিভোল্ট, যা মাত্র ৫ ন্যানোমিটার পুরু ঝিল্লির ওপর প্রতি সেন্টিমিটারে কয়েক লক্ষ ভোল্টের বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র তৈরি করে)।

এই প্রচণ্ড শক্তিতে উদ্বুদ্ধ প্রোটনগুলো আবার ভেতরে ফিরে আসার কেবল একটি পথ পায়: একটি বিস্ময়কর দানবীয় আণবিক টারবাইন—যার নাম **এটিপি সিন্থেস (ATP Synthase)**। মেমব্রেনে থাকা এই জটিল প্রোটিনের মধ্য দিয়ে প্রোটন যখন হুড়মুড় করে প্রবেশ করে, তখন তা সেন্ট্রাল রোটরটিকে প্রতি মিনিটে প্রায় ৯,০০০ বার গতিতে ঘুরিয়ে দেয়! এই যান্ত্রিক ঘূর্ণনের ফলে এটিপি সিন্থেসের বাইরের অংশটি সংকুচিত হয়ে ADP ও অজৈব ফসফেটকে চেপে ধরে এটিপি অণুতে রূপান্তর করে। জীবনের এই আশ্চর্য জৈব-যান্ত্রিক টারবাইনের রহস্য উন্মোচনের জন্য পিটার মিচেল ১৯৭৮ সালে রসায়নে নোবেল পুরস্কার অর্জন করেন।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "জীবনের ইঞ্জিন — পিটার মিচেল, ক্যামিওসমোসিস ও এটিপির ঘূর্ণায়মান সংশ্লেষণ"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ১৩।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-13-engine-of-life-peter-mitchell-chemiosmosis-atp-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

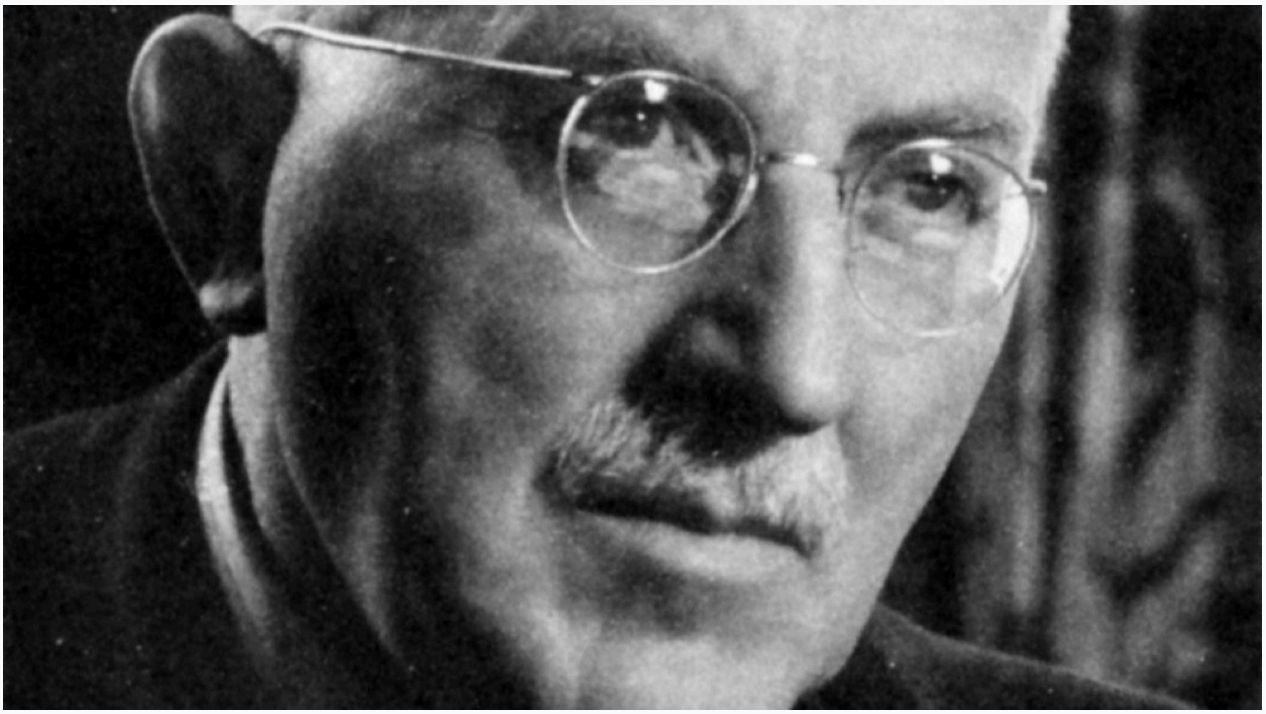
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • চতুর্দশ খণ্ড

দৈত্যাকার অণু — হারমান স্টডিনজার, ম্যাক্রোমলিকিউলার অনুকল্প ও পলিমার যুগ

দৈত্যাকার অণু — হারমান স্টডিনজার, ম্যাক্রোমলিকিউলার অনুকল্প ও পলিমার যুগ

376 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১৪: *হারমান স্টডিনজার: ম্যাক্রোমলিকিউল তত্ত্ব ও পলিমার রসায়নের জনক।*

আধুনিক সভ্যতার দিকে একবার তাকান: সিন্থেটিক পোশাক, নাইলন দড়ি, পলিথিন প্যাকেজিং, পলিকার্বোনেট চশমা, টেফলন প্রলেপ এবং কার্বন ফাইবারের উড়োজাহাজ। একবিংশ শতাব্দীর ভৌত জগত নিশ্চিতভাবেই একটি **পলিমারের যুগ**। অথচ মাত্র এক শতাব্দী আগেও বিশ্বের শীর্ষস্থানীয় রসায়নবিদরা দাবি করতেন যে দীর্ঘ শিকলযুক্ত দৈত্যাকার অণুর কোনো বাস্তব অস্তিত্ব থাকা অসম্ভব। এই বিশালাকার অণুগুলোর বাস্তবতাকে প্রতিষ্ঠিত করার বৈজ্ঞানিক সংগ্রাম ছিল রসায়নের ইতিহাসের অন্যতম তীব্র বুদ্ধিবৃত্তিক যুদ্ধ।

বিংশ শতাব্দীর শুরুতে জৈব রসায়ন ‘ক্ষুদ্র অণু’র ধারণায় অন্ধ ছিল। প্রাকৃতিক রাবার, স্টার্চ বা প্রোটিনের ওজন যখন সাধারণ অণুর চেয়ে হাজার গুণ বেশি পাওয়া যেত, তখন শীর্ষ গবেষকরা দাবি করতেন এগুলো আসলে **কলয়েডাল পুঞ্জ**—যেখানে ছোট ছোট অণু কোনো দুর্বল আন্তঃআণবিক শক্তিতে একসঙ্গে জড়ো হয়ে থাকে। ১৯২০ সালে যখন জার্মান রসায়নবিদ **হারমান স্টডিনজার** (১৮৮১–১৯৬৫) এই ধারণার বিরুদ্ধে দাঁড়ান, তখন তাঁর এক সহকর্মী অধ্যাপক তাঁকে সতর্ক করেছিলেন: *“প্রিয় সহকর্মী, এই দৈত্যাকার অণুর ধারণা ত্যাগ করুন… প্রকৃতিতে ম্যাক্রোমলিকিউল বলে কোনো কিছুর অস্তিত্ব থাকতে পারে না!”*

ম্যাক্রোমলিকিউলার অনুকল্প (১৯২০)

ইটিএইচ জুরিখ ও পরবর্তীতে ফ্রাইবার্গ বিশ্ববিদ্যালয়ের অধ্যাপক স্টডিনজার পরাজয় মানতে অস্বীকৃতি জানান। ১৯২০ সালে প্রকাশিত তাঁর ঐতিহাসিক গবেষণাপত্রে তিনি উপস্থাপন করেন বিখ্যাত **ম্যাক্রোমলিকিউলার অনুকল্প**: রাবার, সেলুলোজ বা পলিস্টাইরিন কোনো আলগা পুঞ্জ নয়; এগুলো হলো এক একটি একক দানবীয় অণু—যেখানে শত শত বা হাজার হাজার পুনরাবৃত্তিকারী মনোমার সমযোজী কার্বন-কার্বন বন্ধন দ্বারা একটি অটুট দীর্ঘ শিকলে আবদ্ধ থাকে।

এটি প্রমাণ করার জন্য স্টডিনজার প্রস্তুত করেন **হাইড্রো-রাবার**। তিনি যুক্তি দেন, রাবার যদি ক্ষণস্থায়ী কোনো পুঞ্জ হতো, তবে হাইড্রোজেন দ্বারা এর দ্বিবন্ধন সম্পৃক্ত করলে তা ভেঙে পাতলা তরলে পরিণত হতো। কিন্তু দেখা গেল সম্পৃক্ত করার পরেও তা পূর্বের মতোই অতিসান্দ্র ও ভারী রইল। অর্থাৎ এর শিকল ছিল সমযোজী বন্ধনে চিরস্থায়ী।

সান্দ্রতার সূত্র ও পলিমার বিপ্লব

স্টডিনজার তরলের সান্দ্রতার সাথে পলিমার শিকলের দৈর্ঘ্যের গাণিতিক সম্পর্ক আবিষ্কার করেন, যা **স্টডিনজারের সান্দ্রতা সূত্র** নামে পরিচিত:

$$[eta] = mathcal{K}_m cdot mathcal{M}^a lpha$$

একটি সাধারণ কাচের নলের মধ্য দিয়ে পলিমার দ্রবণের প্রবাহের গতি মেপেই রসায়নবিদরা প্রথমবারের মতো এই দৈত্যাকার অণুগুলোর বিশাল আণবিক ভর সরাসরি পরিমাপ করতে সক্ষম হন।

স্টডিনজারের এই আবিষ্কার বিশ্বজুড়ে নতুন পদার্থের বিপ্লব ঘটায়। ডুপন্ট ল্যাবরেটরিতে ওয়ালেস ক্যারোদার্স তৈরি করেন নাইলন ও নিওপ্রিন; জিগলার ও নাট্টা উদ্ভাবন করেন পলিথিন ও পলিপ্রপিলিনের অনুঘটক। কিন্তু এর চেয়েও বড় তাৎপর্য ছিল জীববিজ্ঞানে: দীর্ঘ সমযোজী শিকল ছাড়া ডিএনএ-এর বংশগতির তথ্য সংরক্ষণ বা প্রোটিনের ত্রিমাত্রিক ভাঁজ তৈরি হওয়া কোনোদিনই সম্ভব হতো না। দীর্ঘ লড়াইয়ের পর ১৯৫৩ সালে হারমান স্টডিনজার রসায়নে নোবেল পুরস্কার অর্জন করেন—দৈত্যাকার অণুগুলোর বাস্তবতার ওপর পড়ল বিজ্ঞানের পরম সিলমোহর।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "দৈত্যাকার অণু — হারমান স্টডিনজার, ম্যাক্রোমলিকিউলার অনুকল্প ও পলিমার যুগ"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ১৪। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-14-giant-molecules-hermann-staudinger-macromolecules-bn/

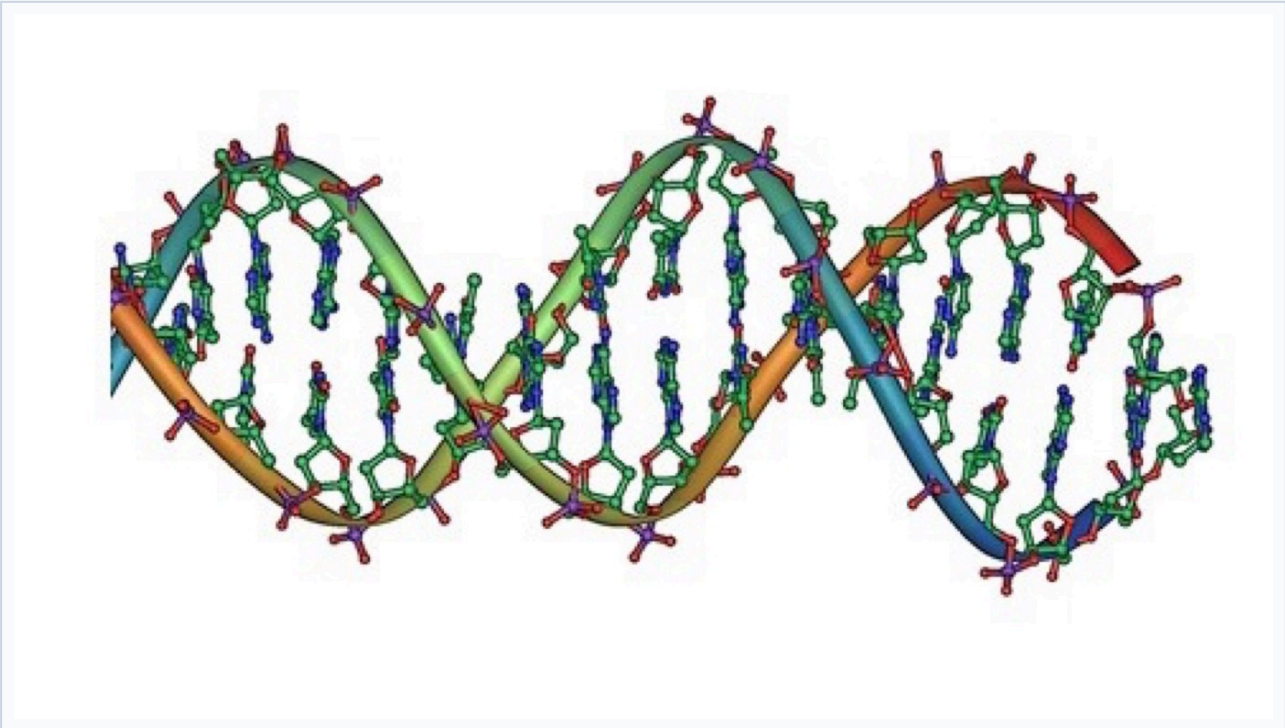
Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • পঞ্চদশ খণ্ড

বংশগতির আণবিক রহস্য — রোজালিন্ড ফ্র্যাঙ্কলিন, ওয়াটসন, ক্রিক ও ডিএনএ কোড

বংশগতির আণবিক রহস্য — রোজালিন্ড ফ্র্যাঙ্কলিন, ওয়াটসন, ক্রিক ও ডিএনএ কোড

424 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ



চিত্র ১৫: *ডিএনএ ডাবল হেলিক্স: বেস পেয়ারিং ও বংশগতির আণবিক সংকেতলিপি।*

১৯৪৪ সালে অস্ট্রিয়ান কোয়ান্টাম পদার্থবিদ এরউইন শ্রোডিঙ্গার এক দূরদর্শী পুস্তিকা রচনা করেছিলেন: *হোয়াট ইজ লাইফ?* (জীবন কী?)। শ্রোডিঙ্গার কোয়ান্টাম তাপগতিবিদ্যার আলোকে যুক্তি দিয়েছিলেন যে জীবদেহের সমস্ত বংশগত তথ্য নিশ্চয়ই সঞ্চিত রয়েছে এক অতিসূক্ষ্ম **অপর্যায়বৃত্ত স্ফটিকে (অ্যাপরিয়ডিক ক্রিস্টাল)**—এমন এক দীর্ঘ আণবিক পলিমার যা তাপীয় কম্পনে ভেঙে না গিয়ে কোষের ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র স্থানে বিপুল পরিমাণ জিনগত তথ্য এনকোড করে রাখতে পারে। এই আণবিক স্ফটিকের সন্ধান ছিল বিংশ শতাব্দীর বিজ্ঞানের সবচেয়ে পবিত্র অন্বেষণ।

১৯৫০-এর দশকের শুরুতে নিশ্চিত প্রমাণিত হয় যে বংশগতির মূল বাহক কোনো প্রোটিন নয়, বরং **ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড** বা ডিএনএ (DNA)। কলম্বিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের রসায়নবিদ **এরউইন চারগাফ** আবিষ্কার করেন জীবনের এক ধ্রুব নিয়ম—**চারগাফের সূত্র**:

$$[\mathit{text}\text{অ্যাডেনিন}] = [\mathit{text}\text{থাইমিন}] \quad \mathit{quad} \mathit{text}\text{এবং} \mathit{quad} [\mathit{text}\text{গুয়ানিন}] = [\mathit{text}\text{সাইটোসিন}]$$

ভাইরাস থেকে মানুষ পর্যন্ত প্রতিটি জীবে অ্যাডেনিনের পরিমাণ থাইমিনের সমান, এবং গুয়ানিনের পরিমাণ সাইটোসিনের সমান। কিন্তু কেন প্রকৃতি এই কঠোর অনুপাত মেনে চলে, তার পেছনের আণবিক জ্যামিতি তখনও অজানা ছিল।

রোজালিন্ড ফ্র্যাঙ্কলিন ও ঐতিহাসিক ফটো ৫১

এই রহস্যের পরীক্ষামূলক সমাধানটি এসেছিল লন্ডনের কিংস কলেজে কর্মরত প্রতিভাধর ব্রিটিশ ভৌত রসায়নবিদ ও ক্রিস্টালোগ্রাফার **রোজালিন্ড এলসি ফ্র্যাঙ্কলিন**-এর (১৯২০–১৯৫৮) কাছ থেকে। উচ্চ আর্দ্রতা নিয়ন্ত্রণ করে এক্স-রে রশ্মি নিক্ষেপের মাধ্যমে ফ্র্যাঙ্কলিন ডিএনএ-এর দুটি রূপ আবিষ্কার করেন: কম আর্দ্রতায় ‘A’ রূপ এবং স্বাভাবিক জীবকোষের মতো উচ্চ আর্দ্রতায় সিক্ত ‘B’ রূপ।

১৯৫২ সালের মে মাসে হাইড্রোজেন গ্যাসপূর্ণ ক্যামেরায় দীর্ঘ ৬০ ঘণ্টারও বেশি এক্সপোজার দিয়ে ফ্র্যাঙ্কলিন ধারণ করেন তাঁর ঐতিহাসিক **ফটো ৫১ (Photo 51)**। এই ফটোগ্রাফটিতে ফুটে উঠেছিল এক নিখুঁত ক্রস আকৃতির এক্স-রে অপবর্তন রেখা—যা ডিএনএ-এর পেঁচানো সিঁড়ির মতো হেলিক্স কাঠামোর এক অনস্বীকার্য প্রমাণ।

ওয়াটসন ও ক্রিকের আণবিক মডেল (১৯৫৩)

ফ্র্যাঙ্কলিনের অপবর্তন তথ্য এবং চারগাফের সূত্রকে ভিত্তি করে ক্যামব্রিজ বিশ্ববিদ্যালয়ের ক্যাভেন্ডিশ ল্যাবরেটরিতে চব্বিশ বছর বয়সী আমেরিকান জীববিজ্ঞানী **জেমস ওয়াটসন** এবং ব্রিটিশ পদার্থবিদ **ফ্রান্সিস ক্রিক** ১৯৫৩ সালের মার্চে ডিএনএ-এর ত্রিমাত্রিক মডেল তৈরি করেন। ওয়াটসন বুঝতে পারলেন নাইট্রোজেনাস বেসগুলোর কিটো-কাঠামোতে **হাইড্রোজেন বন্ধনী** তৈরি হয় যা নিখুঁতভাবে একে অপরের পরিপূরক:

- **অ্যাডেনিন (A)** দুটি হাইড্রোজেন বন্ধন দিয়ে যুক্ত হয় **থাইমিন (T)**-এর সাথে ($A = T$)।
- **গুয়ানিন (G)** তিনটি হাইড্রোজেন বন্ধন দিয়ে যুক্ত হয় **সাইটোসিন (C)**-এর সাথে ($GequivC$)।

সুগার ও ফসফেটের দুটি সুতা বিপরীতমুখী সমান্তরালে (অ্যান্টি-প্যারালাল, $5^{p}rimerightarrow3^{p}rime$) পরস্পরকে জড়িয়ে একটি দ্বিসূত্রক ডাবল হেলিক্স গঠন করে। ১৯৫৩ সালের ২৫ এপ্রিল *নেচার* জার্নালে প্রকাশিত মাত্র এক পৃষ্ঠার গবেষণাপত্রে ওয়াটসন ও ক্রিক লিখেছিলেন সেই অবিস্মরণীয় বাক্য:

> *“আমাদের দৃষ্টি এড়ায়নি যে, আমরা যে সুনির্দিষ্ট বেস-জোড়া কাঠামো প্রস্তাব করেছি, তা বংশগতির উপাদানের হুবহু অনুলিপিকরণের (রেপ্লিকেশন) এক তাৎক্ষণিক মেকানিজম নির্দেশ করে।”*

যেহেতু প্রতিটি ক্ষারক কেবল তার পরিপূরক ক্ষারকের সাথেই যুক্ত হতে পারে, তাই ডিএনএ-এর দুটি সুতা আলাদা হয়ে গেলে প্রতিটি সুতা হুবহু নতুন একটি ডিএনএ তৈরির ছাঁচ হিসেবে কাজ করতে পারে। জীবনের মূল রহস্য কোনো অলৌকিক প্রাণশক্তি নয়; এটি ছিল হাইড্রোজেন বন্ধনী দ্বারা পরিচালিত কোয়ান্টাম রসায়নের এক অমর তথ্যপ্রবাহ।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "বংশগতির আণবিক রহস্য — রোজালিন্ড ফ্র্যাঙ্কলিন, ওয়াটসন, ক্রিক ও ডিএনএ কোড"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ১৫।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-15-secret-of-heredity-rosalind-franklin-dna-double-helix-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ষোড়শ খণ্ড

আণবিক স্থপতি — রবার্ট বার্নস উডওয়ার্ড, মোট সংশ্লেষণ ও অরবিটাল প্রতিসাম্য

আণবিক স্থপতি — রবার্ট বার্নস উডওয়ার্ড, মোট সংশ্লেষণ ও অরবিটাল প্রতিসাম্য

343 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১৬: *রবার্ট বার্নস উডওয়ার্ড: জটিল জৈব অণুর মোট সংশ্লেষণ ও অরবিটাল প্রতিসাম্যের মহাগুরু।*

জৈব রসায়নের প্রথম এক শতাব্দী ধরে প্রকৃতি ছিল এক অপরাজিত শিল্পী। জীবদেহ অতি সহজে তৈরি করত জটিল সব প্রাকৃতিক অণু—স্নায়ুকে অবশ করা অ্যালকালয়েড, হরমোন নিয়ন্ত্রণকারী স্টেরয়েড এবং সূর্যালোক শোষণকারী ক্লোরোফিল। অথচ মানুষের পরীক্ষাগারে সাধারণ কয়লা বা পেট্রোলিয়াম থেকে এই জটিল অণুগুলো তৈরি করা ছিল প্রায় অসম্ভব এক স্বপ্ন। এই আপাত অসম্ভবকে বাস্তবে রূপ দিয়েছিলেন হার্ভার্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের এক অবিসংবাদিত জিনিয়াস: **রবার্ট বার্নস উডওয়ার্ড** (১৯১৭–১৯৭৯)।

মাত্র ষোল বছর বয়সে এমআইটিতে ভর্তি হয়ে বিশ বছর বয়সে ডক্টরেট সম্পন্ন করা উডওয়ার্ড **টোটাল সিন্থেসিস** বা মোট জৈব সংশ্লেষণকে—সাধারণ রাসায়নিক থেকে জীবদেহের সহায়তা ছাড়া জটিল অণু তৈরির বিদ্যাকে—এক নিখুঁত ত্রিমাত্রিক শিল্পকলায় রূপান্তর করেন।

মোট সংশ্লেষণের অমর কীর্তি

চার দশকেরও বেশি সময় ধরে উডওয়ার্ড একে একে পরীক্ষাগারে তৈরি করেন প্রকৃতির সবচেয়ে জটিল সব আণবিক গোলকধাঁধা:

- **কুইনাইন (১৯৪৪):** ম্যালেরিয়ার ঐতিহাসিক প্রতিষেধক।
- **কোলেস্টেরল ও কর্টিসোন (১৯৫১):** জটিল স্টেরয়েড কাঠামো।
- **স্ট্রিকনিন (১৯৫৪):** সাতটি জটিল বলয় ও ছয়টি স্টেরিওসেন্টার বিশিষ্ট বিষাক্ত অ্যালকালয়েড।
- **রিসারপিন (১৯৫৬):** পাঁচটি সংলগ্ন ত্রিমাত্রিক কেন্দ্রযুক্ত প্রশান্তিদায়ক ওষুধ।
- **ক্লোরোফিল (১৯৬০):** সালোকসংশ্লেষণের সবুজ রঞ্জক পদার্থ।
- **ভিটামিন B_{12} (১৯৭২):** আলবার্ট এশেনমোসারের সাথে এক যৌথ মহাকাব্য—এক শতাধিক রসায়নবিদের বারো বছরের সাধনায় পঁচানব্বইটি ধারাবাহিক ধাপে কোবাল্ট সমন্বিত এই দানবীয় অণুটি সংশ্লেষিত হয়।

উডওয়ার্ড-হফম্যান নীতি: অরবিটাল প্রতিসাম্য সংরক্ষণ

ভিটামিন বি১২ তৈরির সময় উডওয়ার্ড একটি অভূতপূর্ব ঘটনার মুখোমুখি হন: একটি নির্দিষ্ট যৌগকে উত্তপ্ত করলে যে ত্রিমাত্রিক সমাণু তৈরি হয়, অতিবেগুনী আলো ফেললে তৈরি হয় তার ঠিক বিপরীত সমাণু। এর পেছনের কোয়ান্টাম কারণ খুঁজতে গিয়ে উডওয়ার্ড কর্নওয়েল বিশ্ববিদ্যালয়ের তাত্ত্বিক রসায়নবিদ **রোল্ড হফম্যান**-এর সাথে হাত মেলান।

১৯৬৫ সালে তাঁরা প্রকাশ করেন রসায়নের অন্যতম প্রভাবশালী নীতি—**উডওয়ার্ড-হফম্যান নীতি**: *পেরি-সাইক্লিক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অরবিটালের প্রতিসাম্য সর্বদা সংরক্ষিত থাকে।* বিক্রিয়া চলার সময় সর্বোচ্চ দখলকৃত অরবিটাল (HOMO) এবং সর্বনিম্ন ফাঁকা অরবিটালের (LUMO) তরঙ্গ চিহ্নের মধ্যে ধনাত্মক ওভারল্যাপ বজায় থাকতে হয়:

$$\oint \psi_{\text{HOMO}} \cdot \psi_{\text{LUMO}} \, d\tau > 0$$

তাপীয় অবস্থায় চার-ইলেকট্রনের ($4n$) বলয় একমুখী ঘূর্ণনে (কনরোটেটরি) ঘোরে, আর ছয়-ইলেকট্রনের ($4n+2$) বলয় খোলে বিপরীতমুখী ঘূর্ণনে (ডিসরোটেটরি)। কিন্তু আলো পড়লে ইলেকট্রন উচ্চ শক্তির স্তরে উন্নীত হয়ে অরবিটালের চিহ্ন বদলে দেয়, ফলে বিক্রিয়ার অভিমুখও উল্টে যায়। ১৯৬৫ সালে উডওয়ার্ড রসায়নে নোবেল পুরস্কার অর্জন করেন (এবং ১৯৮১ সালে হফম্যান নোবেল পান)। উডওয়ার্ড প্রমাণ করেন রসায়ন কেবল প্রকৃতিকে জানার বিদ্যা নয়, এটি হলো মানব মস্তিষ্কের আণবিক সৃষ্টির এক অনন্ত শিল্পকলা।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "আণবিক স্থপতি — রবার্ট বার্নস উডওয়ার্ড, মোট সংশ্লেষণ ও অরবিটাল প্রতিসাম্য"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ১৬।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-16-master-builders-robert-burns-woodward-total-synthesis-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • সপ্তদশ খণ্ড

যান্ত্রিক বন্ধন — সোভাজ, স্টডার্ট, ফেরিঙ্গা ও আগামীর আণবিক যন্ত্র

যান্ত্রিক বন্ধন — সোভাজ, স্টডার্ট, ফেরিঙ্গা ও আগামীর আণবিক যন্ত্র

354 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১৭: *স্যার জে. ফ্রেজার স্টডার্ট: মেকানিক্যালি ইন্টারলকড অণু ও আণবিক মোটরের আবিষ্কারক।*

১৯৫৯ সালের ডিসেম্বরে ক্যালটেকে এক ঐতিহাসিক বক্তৃতায় নোবেলজয়ী পদার্থবিদ রিচার্ড ফাইনম্যান এক চমকপ্রদ স্বপ্নের কথা তুলে ধরেছিলেন: *“দেয়ার্স প্লেনটি অব রুম অ্যাট দ্য বটম”* (নিচের জগতে প্রচুর ফাঁকা জায়গা)। ফাইনম্যান রসায়নবিদদের আহ্বান জানিয়েছিলেন অণুকে একটি একটি করে জোড়া লাগিয়ে আণবিক স্কেলে মোটর, গিয়ার ও রোবট তৈরি করার জন্য। কিন্তু দীর্ঘ ২৫ বছর ধরে এটি সায়েন্স ফিকশন বলেই মনে হতো। কারণ রসায়নে পরিচিত সমযোজী বা আয়নিক বন্ধনগুলো ছিল অনমনীয়; মেশিনের মতো স্বাধীনভাবে ঘোরার মতো কোনো জয়েন্ট অণুর মধ্যে ছিল না।

এই অচলাবস্থা ভেঙে যায় ১৯৮৩ সালে ফ্রান্সের স্ট্রাসবার্গে। ফরাসি রসায়নবিদ **জঁ-পিয়েরে সোভাজ** (জন্ম ১৯৪৪) কপার আয়নের সমন্বয়কে ছাঁচ হিসেবে ব্যবহার করে একটি আণবিক বলয়ের ভেতর আরেকটি বলয় গলিয়ে আটকে দেন—তৈরি হয় **ক্যাটেনেন ([2]catenane)**। শেকলের কড়ার মতো যুক্ত এই দুটি বলয়ের মাঝে কোনো সমযোজী ইলেকট্রন শেয়ারিং নেই; তারা আবদ্ধ কেবল স্থানিক জ্যামিতির এক নতুন নিয়মে—যার নাম **যান্ত্রিক বন্ধন (মেকানিক্যাল বন্ড)**।

ফ্রেজার স্টডার্ট ও আণবিক শাটল

১৯৯১ সালে স্কটিশ রসায়নবিদ **স্যার জে. ফ্রেজার স্টডার্ট** (জন্ম ১৯৪২) প্রস্তুত করেন **রোটাক্সেন ([2]rotaxane)**: একটি ডাম্বেল আকৃতির আণবিক এক্সেল, যার দুই মাথায় থাকে দুটি বিশাল স্টপার এবং মাঝখানে ফ্রিলি চলাচলের উপযোগী একটি আণবিক রিং।

দ্রবণের অম্লতা বা বিদ্যুৎপ্রবাহ পরিবর্তন করে স্টডার্ট প্রমাণ করেন যে রিংটিকে এক্সেলের দুটি ভিন্ন স্টেশনের মাঝে ইচ্ছামতো সামনে-পিছনে সরানো যায়—জন্ম নেয় পৃথিবীর ক্ষুদ্রতম **আণবিক শাটল সুইচ**। এরপর স্টডার্ট তৈরি করেন আণবিক পেশি যা মানুষের পেশির মতোই সংকুচিত ও প্রসারিত হতে পারত, এবং ন্যানো-ভালভ যা ক্যানসার আক্রান্ত কোষে গিয়ে ওষুধ উন্মুক্ত করতে পারে।

বেন ফেরিঙ্গা ও একমুখী আণবিক মোটর

শাটল কেবল সামনে-পিছনে দুললেও একটি সত্যিকারের ইঞ্জিনের জন্য প্রয়োজন একমুখী ঘূর্ণন। ১৯৯৯ সালে নেদারল্যান্ডসের রসায়নবিদ **বার্নার্ড এল. ফেরিঙ্গা** (জন্ম ১৯৫১) তৈরি করেন বিশ্বের প্রথম সিন্থেটিক **আণবিক মোটর**। তিনি একটি কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধনযুক্ত অণুর দুই পাশে দুটি ব্লেড বা প্রপেলার সংযুক্ত করেন।

অতিবেগুনী আলো ফেললে দ্বিবন্ধনটি খুলে গিয়ে ১৮০ ডিগ্রি ঘোরে; এরপর তাপীয় শিথিলতার মাধ্যমে অণুর মেথিল গ্রুপের বাধা পেরিয়ে তা বাকি ১৮০ ডিগ্রি পূর্ণ করে—ফলে শুরু হয় এক অবিরাম ৩৬০ ডিগ্রি একমুখী ঘূর্ণন। ২০১৪ সালের মধ্যে ফেরিঙ্গার এই আণবিক মোটর প্রতি সেকেন্ডে ১ কোটি ২০ লক্ষ বার গতিতে ঘুরতে সক্ষম হয় এবং এর চাকার সাহায্যে তৈরি হয় আণবিক ন্যানোকার। ২০১৬ সালে রসায়নে নোবেলজয়ী এই তিন বিজ্ঞানী রসায়নকে এক জড় বিজ্ঞান থেকে রূপান্তরিত করেছেন চলমান ন্যানো-প্রকৌশলের এক উজ্জ্বল সম্ভাবনাময় জগতে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "যান্ত্রিক বন্ধন — সোভাজ, স্টডার্ট, ফেরিঙ্গা ও আগামীর আণবিক যন্ত্র"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ১৭। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-17-mechanical-bond-supramolecular-molecular-machines-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

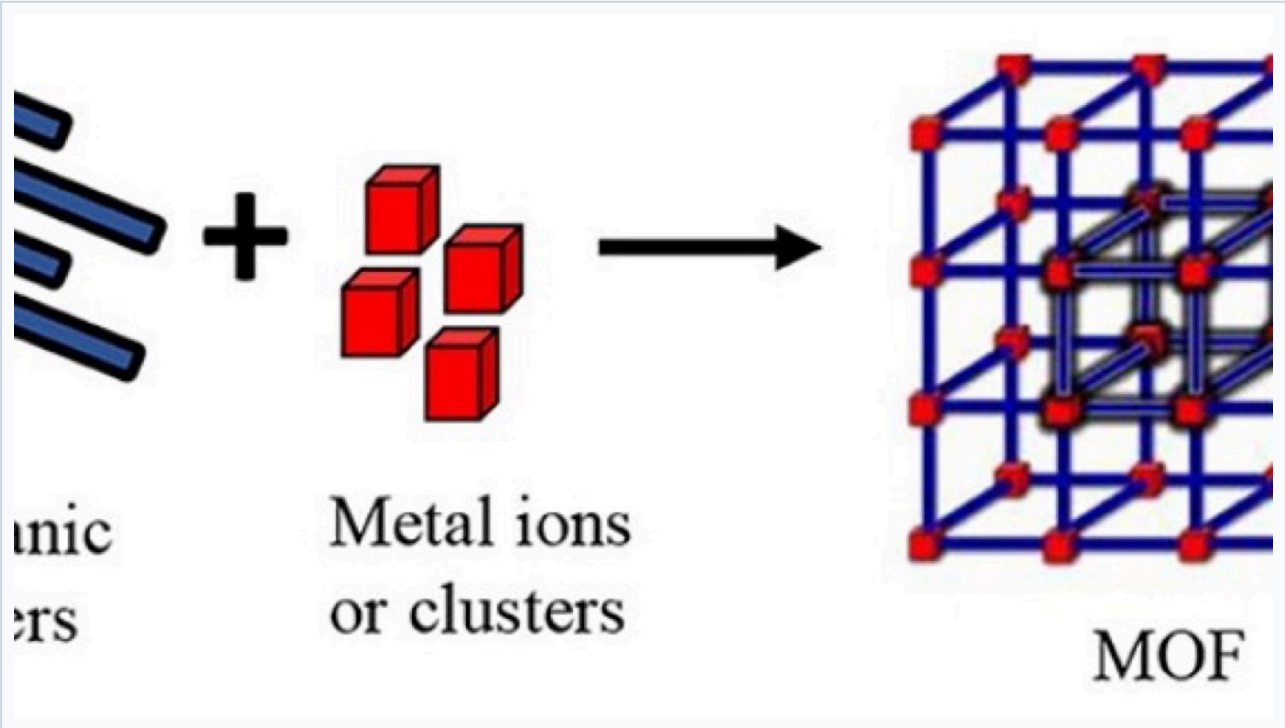
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • অষ্টাদশ খণ্ড

রেটিকুলার স্ফটিক — ওমর ইয়াঘি, মেটাল-অরগানিক ফ্রেমওয়ার্ক ও মরুভূমির জল আহরণ

রেটিকুলার স্ফটিক — ওমর ইয়াঘি, মেটাল-অরগানিক ফ্রেমওয়ার্ক ও মরুভূমির জল আহরণ

352 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১৮: *মেটাল-অরগানিক ফ্রেমওয়ার্ক (এমওএফ): রেটিকুলার কেমিস্ট্রি ও গ্যাস সঞ্চয়ের ত্রিমাত্রিক জালিকা।*

হাজার হাজার বছর ধরে কঠিন পদার্থ বলতে মানুষ বুঝেছে নিরেট ঘনত্ব। লোহা, মার্বেল পাথর বা গ্রানাইট ছিল ভারী ও নিরেট। এমনকি জিওলাইটের মতো প্রাকৃতিক ছিদ্রযুক্ত পাথরের নালিগুলোও ছিল অত্যন্ত সংকীর্ণ ও ভঙ্গুর। বহু বছর ধরে উপাদান বিজ্ঞানীদের স্বপ্ন ছিল এক জাদুকরী বৈপরীত্য: এমন কি কোনো কঠিন স্ফটিক তৈরি করা সম্ভব যার নব্বই শতাংশ আয়তনই হবে ফাঁকা খাঁচা—অথচ যা শত শত ডিগ্রি উত্তাপেও অটুট থাকবে?

এই অসম্ভব স্বপ্নকে বাস্তবে রূপ দিয়েছেন জর্ডানিয়ান-আমেরিকান রসায়নবিদ ও ইউসি বার্কলের অধ্যাপক **ওমর এম. ইয়াঘি** (জন্ম ১৯৬৫)। ১৯৯০-এর দশকের শেষভাগে ইয়াঘি প্রতিষ্ঠা করেন **রেটিকুলার কেমিস্ট্রি** (Reticular Chemistry)—যেখানে ধাতব পরমাণুর গুচ্ছ ও জৈব অণুর লিঙ্ক বা সংযোগকারীকে আণবিক লেগোর মতো সুনির্দিষ্ট জ্যামিতিক নকশায় গেঁথে তৈরি করা হয় ত্রিমাত্রিক ফাঁপা স্ফটিক জালিকাব্যবস্থা: **মেটাল-অরগানিক ফ্রেমওয়ার্ক (MOF)**।

এমওএফ-৫: শূন্যতার রাজত্ব

১৯৯৯ সালে *নেচার* জার্নালে ইয়াঘি প্রকাশ করেন তাঁর যুগান্তকারী **MOF-5** স্ফটিকের আবিষ্কার। জিংক অক্সাইডের (Zn_4O) অষ্টতলকীয় নোডকে বেনজিন রিংযুক্ত লিঙ্কারের সাথে যুক্ত করে তিনি তৈরি করেন কিউবিক আকৃতির এক সুবিশাল অভ্যন্তরীণ খাঁচা।

এই স্ফটিকটির অভ্যন্তরীণ পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল ছিল অভূতপূর্ব: **প্রতি গ্রামে ২,৯০০ বর্গমিটারের বেশি**। পরবর্তীতে ইয়াঘির ল্যাবরেটরিতে তৈরি আধুনিক ফ্রেমওয়ার্কগুলোর অভ্যন্তরীণ ক্ষেত্রফল **প্রতি গ্রামে ১০,০০০ বর্গমিটার** ছাড়িয়ে যায়। অর্থাৎ, একটি সাধারণ এক সেন্টিমিটার কিউব আকারের স্ফটিকের অভ্যন্তরীণ সুড়ঙ্গগুলোকে খুলে মেঝেতে বিছিয়ে দিলে তা একটি সুবিশাল ফুটবল মাঠকে সম্পূর্ণ ঢেকে ফেলতে পারে!

মরুভূমির শুষ্ক বায়ু থেকে বিশুদ্ধ পানীয় জল

যেহেতু এই ফ্রেমওয়ার্কগুলোর জৈব লিঙ্কারকে পরমাণু পর্যায়ে নিয়ন্ত্রণ করা সম্ভব, তাই বিজ্ঞানীদের প্রয়োজনমাফিক এদের ছিদ্রের আকার ও রাসায়নিক আকর্ষণ ক্ষমতা নিখুঁতভাবে টিউন করা যায়:

- **বাতাস থেকে জল আহরণ:** ২০১৭ সালে ইয়াঘি জিরকোনিয়াম-ভিত্তিক **MOF-801** স্ফটিক উদ্ভাবন করেন—যা ২০ শতাংশেরও কম আপেক্ষিক আর্দ্রতায় বাতাসের জলীয় বাষ্প শুষে নিতে পারে। সাহারা বা মোহাভে মরুভূমির মতো রুক্ষ ও শুষ্ক স্থানে কোনো বিদ্যুৎ ছাড়াই সৌরশক্তির সাহায্যে এই স্ফটিক রাতের শুষ্ক বাতাস থেকে জল শুষে নেয় এবং দিনের আলোয় ফোঁটায় ফোঁটায় বিশুদ্ধ খাবার জল নিঃসৃত করে।
- **কার্বন ডাই-অক্সাইড বন্দিকরণ:** শিল্প কারখানার ধোঁয়াশা থেকে এই ফ্রেমওয়ার্কগুলো শুধুমাত্র CO_2 গ্যাসকে স্পঞ্জের মতো আটকে ফেলে, যা বৈশ্বিক উষ্ণায়ন রোধে সবচেয়ে কার্যকর সমাধান।
- **পরিচ্ছন্ন হাইড্রোজেন জ্বালানি সঞ্চয়:** স্বল্প চাপে ন্যানোপোরের ভেতর হাইড্রোজেন ও মিথেন গ্যাস নিরাপদে সঞ্চয় করে পরিবেশবান্ধব যানবাহন পরিচালনা করা সম্ভব হয়েছে।

ওমর ইয়াঘির রেটিকুলার রসায়ন প্রমাণ করেছে যে শূন্যস্থান মানেই ফাঁকা নয়; সুপরিকল্পিত ন্যানো-শূন্যস্থান হলো বিজ্ঞানের অন্যতম শক্তিশালী প্রযুক্তিগত সম্পদ।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "রেটিকুলার স্ফটিক — ওমর ইয়াঘি, মেটাল-অরগানিক ফ্রেমওয়ার্ক ও মরুভূমির জল আহরণ"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ১৮। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-18-reticular-crystals-omar-yaghi-metal-organic-frameworks-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

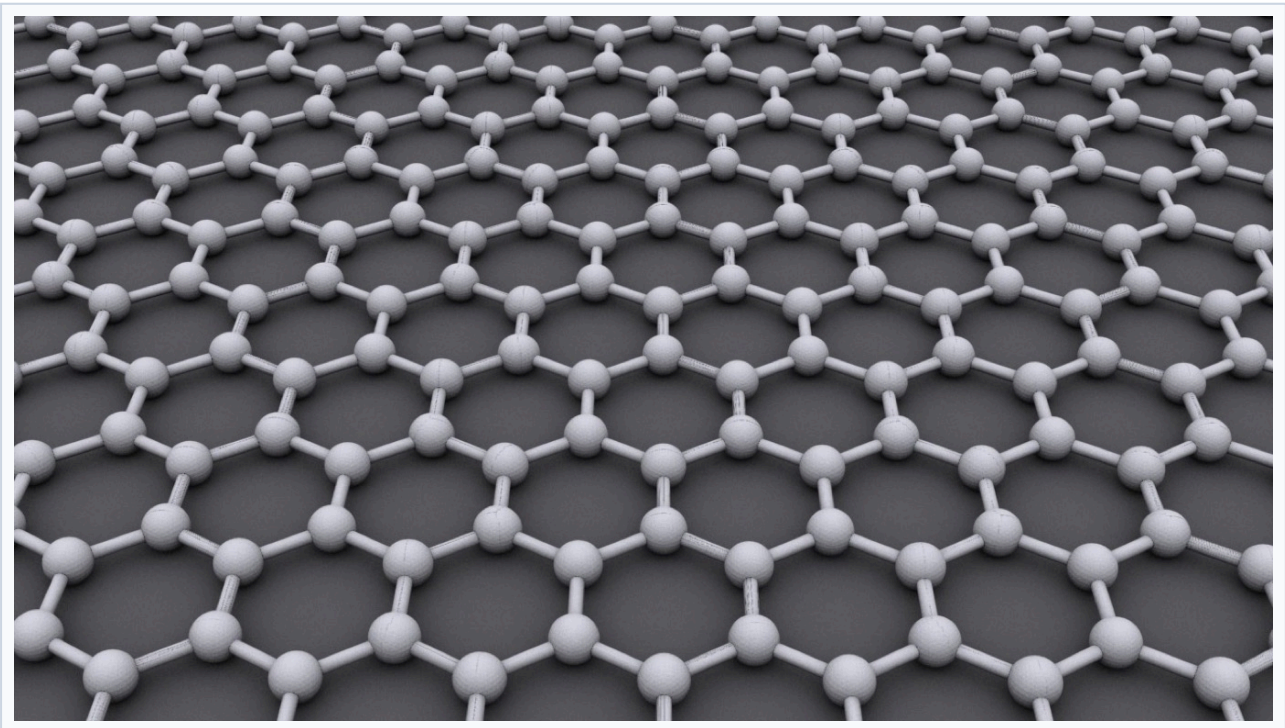
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • ঊনবিংশ খণ্ড

কার্বনের সমতল জগত — আন্দ্রে গেইম, গ্রাফিন ও দ্বিমাত্রিক ন্যানোম্যাটেরিয়াল

কার্বনের সমতল জগত — আন্দ্রে গেইম, গ্রাফিন ও দ্বিমাত্রিক ন্যানোম্যাটেরিয়াল

366 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ১৯: *গ্রাফিন: কার্বন পরমাণুর দ্বিমাত্রিক ষড়ভুজাকার মৌচাক জালিকা ও ন্যানোম্যাটেরিয়াল।*

বিংশ শতাব্দী জুড়ে সলিড-স্টেট পদার্থবিজ্ঞান ও রসায়ন এক অকাট্য তাত্ত্বিক সূত্রের ওপর প্রতিষ্ঠিত ছিল। ১৯৩০-এর দশকে নোবেলজয়ী পদার্থবিদ লেভ ল্যান্ডাউ এবং রুডলফ পায়ার্লস গাণিতিকভাবে প্রমাণ করেছিলেন যে আমাদের বাস্তব মহাবিশ্বে কেবল এক পরমাণু পুরু দ্বিমাত্রিক স্ফটিক টিকে থাকা অসম্ভব: স্বাভাবিক তাপমাত্রার পারমাণবিক কম্পন (ফোনন) এক স্তরের পরমাণুর বন্ধনকে ছিন্নভিন্ন করে তাকে চূর্ণবিচূর্ণ করে ফেলবে। অর্থাৎ, একক পরমাণুর সমতল চাদর ছিল তাপগতিবিদ্যার দৃষ্টিতে এক অসম্ভব কূটাভাস।

২০০৪ সালে ম্যানচেস্টার বিশ্ববিদ্যালয়ের দুই তরুণ বিজ্ঞানী বিশ্বের তাবৎ তাত্ত্বিকদের ভুল প্রমাণ করেছিলেন গবেষণাগারের সবচেয়ে সস্তা একটি উপকরণ ব্যবহার করে: এক রোল সাধারণ **স্কচটেপ**। **আন্দ্রে গেইম** (জন্ম ১৯৫৮) এবং **কনস্ট্যান্টিন নোভোসেলভ** (জন্ম ১৯৭৪) পেন্সিলের গ্রাফাইটের ওপর সেলোফেন টেপ সেঁটে বারবার ভাঁজ করে স্তরগুলোকে ছাড়িয়ে নিতে থাকেন—যতক্ষণ না সিলিকন ওয়েফারের ওপর খালি চোখে অদৃশ্য মাত্র একক পরমাণুর একটি স্তর অবশিষ্ট থাকে।

গ্রাফিনের মহাজাগতিক ক্ষমতা

এই নতুন পদার্থের নাম রাখা হয় **গ্রাফিন**: কার্বন পরমাণুর ষড়ভুজাকার মৌচাকের মতো sp^2 সংকরায়নে সজ্জিত একক পরমাণু পুরু একটি দ্বিমাত্রিক জালিকা। গ্রাফিনের গুণাবলি ছিল কল্পবিজ্ঞানকেও হার মানানোর মতো বিস্ময়কর:

- **যান্ত্রিক শক্তি:** গ্রাফিন হলো মানব ইতিহাসের সবচেয়ে শক্তিশালী পদার্থ—যা কাঠামোগত ইস্পাতের চেয়ে **২০০ গুণেরও বেশি শক্তিশালী**। এক পরমাণু পুরু গ্রাফিনের একটি অদৃশ্য জালের ওপর আস্ত একটি বিড়াল শুইয়ে রাখলেও তা ছিঁড়বে না!
- **তাপ পরিবাহিতা:** গ্রাফিনের তাপ পরিবাহিতা প্রতি মিটারে ৫,০০০ ওয়াটেরও বেশি—যা খাঁটি তামা বা হীরার চেয়ে বহুগুণ বেশি।
- **আলোক স্বচ্ছতা:** মাত্র এক পরমাণু পুরু হওয়া সত্ত্বেও এটি ২.৩ শতাংশ আলো শোষণ করে—যা কোয়ান্টাম ইলেকট্রোডাইনামিক্সের ফাইন-স্ট্রাকচার ধ্রুবক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত।
- **ভরহীন ডিরাক ফার্মিয়ন:** মৌচাক জালিকার জ্যামিতির কারণে গ্রাফিনের ভেতর ইলেকট্রন তাদের কার্যকর ভর হারিয়ে ভরহীন কণার মতো আলোর গতির তিনশত ভাগের এক ভাগ গতিতে ($১০^{৬}$ মিটার/সেকেন্ড) অবলীলায় ছুটে চলে।

দ্বিমাত্রিক ন্যানোম্যাটেরিয়ালের স্বর্ণযুগ

২০১০ সালে এই যুগান্তকারী আবিষ্কারের জন্য গেইম ও নোভোসেলভকে নোবেল পুরস্কার প্রদান করা হয়। বিজ্ঞান বিশ্ব বুঝতে পারল গ্রাফিন কেবল শুরু—এর পেছনে রয়েছে **দ্বিমাত্রিক ন্যানোম্যাটেরিয়ালের** এক অচেনা মহাদেশ। বিজ্ঞানীরা দ্রুত উদ্ভাবন করেন:

- **হেক্সাগোনাল বোরন নাইট্রাইড (h-BN):** 'সাদা গ্রাফিন', পরমাণু পর্যায়ের মসৃণ বৈদ্যুতিক অপরিবাহী স্তর।
- **মলিবডেনাম ডাইসালফাইড (MoS_2):** সেমিকন্ডাক্টর ব্যান্ডগ্যাপযুক্ত পরমাণু পুরু চিপ ট্রানজিস্টর।
- **টুইস্ট্রনিক্স (Twistronics):** ২০১৮ সালে এমআইটি-র গবেষকরা আবিষ্কার করেন দুটি গ্রাফিন স্তরকে ঠিক ১.১ ডিগ্রি 'ম্যাজিক অ্যাঙ্গেলে' সামান্য বাঁকিয়ে বসালে তা কোনো প্রতিরোধ ছাড়াই অতিপরিবাহী বা সুপারকন্ডাক্টরে পরিণত হয়!

পদার্থকে দ্বিমাত্রিক সমতলে নামিয়ে আনার মাধ্যমে রসায়ন এমন এক কোয়ান্টাম খেলার মাঠ তৈরি করেছে যেখানে পরমাণুর প্রতিটি স্তর সাজিয়ে মনের মতো নতুন বৈশিষ্ট্য তৈরি করা সম্ভব।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "কার্বনের সমতল জগত — আন্দ্রে গেইম, গ্রাফিন ও দ্বিমাত্রিক ন্যানোম্যাটেরিয়াল"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ১৯।
https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-19-flatland-of-carbon-andre-geim-graphene-nanomaterials-bn/

Shakil Mahmud • Research Monograph

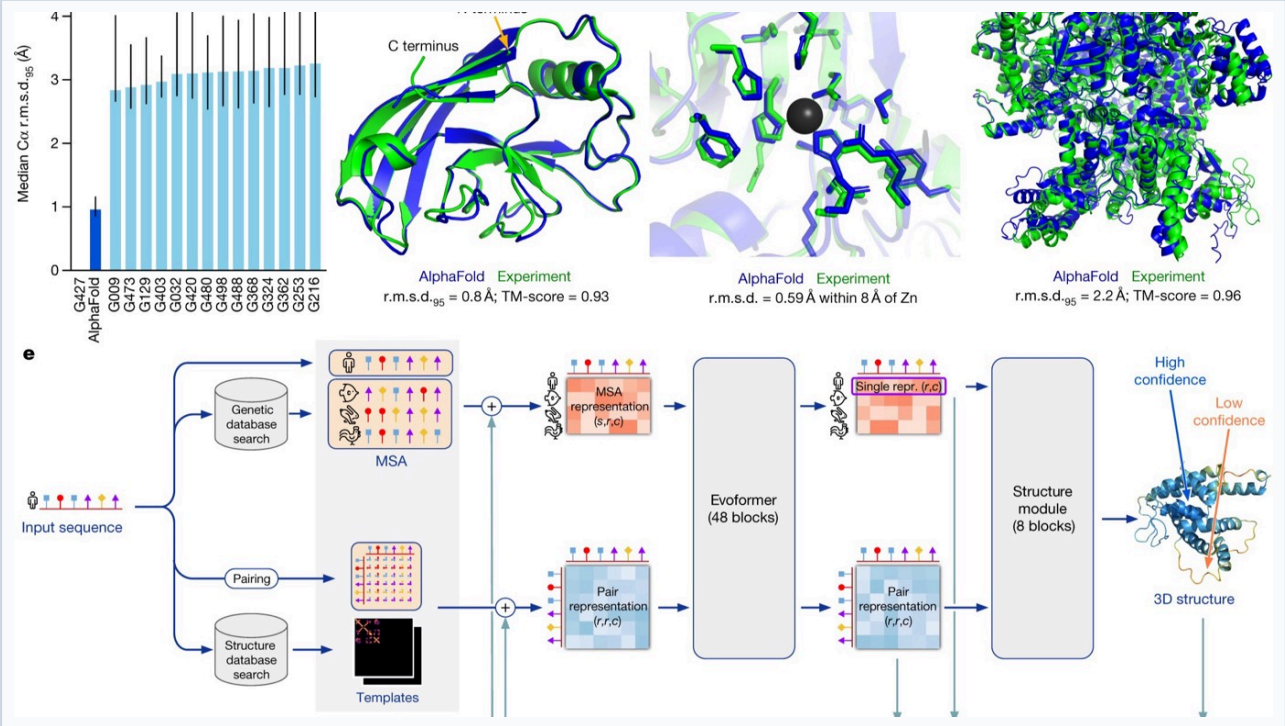
শাকিল মাহমুদ মনোগ্রাফ সিরিজ • বিংশ খণ্ড

জেনারেটিভ অণু — আলফা ফোল্ড, কেমিক্যাল এআই ও উত্তর-প্রাকৃতিক পদার্থের নকশা

জেনারেটিভ অণু — আলফা ফোল্ড, কেমিক্যাল এআই ও উত্তর-প্রাকৃতিক পদার্থের নকশা

529 শব্দ • November 2, 2026 • ওয়েব সংস্করণ

❖



চিত্র ২০: *আলফা ফোল্ড ২: অ্যামিনো অ্যাসিড ক্রম থেকে প্রোটিনের ত্রিমাত্রিক আণবিক গঠনের কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা পূর্বাভাস।*

১৯৬৯ সালে প্রাণরসায়নবিদ সাইরাস লেভিনথাল একটি গাণিতিক দুঃস্বপ্নের কথা তুলে ধরেছিলেন: **লেভিনথালের কূটাভাস**। একটি সাধারণ প্রোটিন প্রায় তিনশত অ্যামিনো অ্যাসিডের দীর্ঘ শিকল নিয়ে গঠিত। প্রতিটি অ্যামিনো অ্যাসিডের পেপটাইড বন্ধনে একাধিক কোণে ঘোরার সুযোগ থাকায় একটি প্রোটিন শিকল তাত্ত্বিকভাবে প্রায় $১০^{৩০০}$ টি সম্ভাব্য ত্রিমাত্রিক অবস্থায় ভাঁজ হতে পারে। কোনো প্রোটিন যদি সবচেয়ে দ্রুততম পিকোসেকেন্ড ($১০^{-১২}$ সেকেন্ড) গতিতেও একে একে এই অবস্থাগুলো পরীক্ষা করতে যেত, তবে সঠিক স্থিতিশীল ভাঁজটি খুঁজে পেতে মহাবিশ্বের বয়সের চেয়েও বেশি সময় লেগে যেত। অথচ জীবকোষের ভেতরে একটি প্রোটিন মাত্র কয়েক মিলিসেকেন্ডের মধ্যেই নিখুঁত ন্যানোমিটার ত্রিমাত্রিক কাঠামোতে ভাঁজ হয়ে যায়!

পঞ্চাশ বছর ধরে একটি মাত্র প্রোটিনের কাঠামো নির্ধারণ করতে বিজ্ঞানীদের ল্যাবরেটরিতে বছরের পর বছর ঘাম ঝরাতে হতো: ক্রিস্টাল তৈরি করে তা বিলিয়ন ডলারের সিনক্রোট্রন পার্টিকেল এক্সিলারেটরে নিয়ে এক্স-রে করা, অথবা তরল ইথেনে জমিয়ে ক্রায়ো-ইলেক্ট্রন মাইক্রোস্কোপিতে পরীক্ষা করা। ২০২০ সাল পর্যন্ত বিশ্বজুড়ে বিজ্ঞানীদের সম্মিলিত প্রচেষ্টায় প্রায় ১ লক্ষ ৭০ হাজার প্রোটিনের গঠন জানা সম্ভব হয়েছিল—যা প্রকৃতির কোটি কোটি প্রোটিনের মহাসাগরে এক ফোঁটা জলের মতো। রসায়নের এই চূড়ান্ত সীমান্ত অতিক্রম করতে প্রয়োজন ছিল সম্পূর্ণ নতুন এক বুদ্ধিমত্তার।

যুগান্তকারী বিপ্লব: আলফা ফোল্ড ২ (২০২০)

২০২০ সালের নভেম্বরে আন্তর্জাতিক প্রোটিন গঠন পূর্বাভাস প্রতিযোগিতায় (CASP14) লন্ডনভিত্তিক কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা গবেষণাগার **গুগল ডিপমাইন্ড** বিশ্বকে চমকে দেয়। ডিপমাইন্ডের প্রতিষ্ঠাতা **ডেমিস হাসাবিস** এবং প্রধান গবেষক **জন জাম্পার**-এর নেতৃত্বে উন্মোচিত হয় **আলফা ফোল্ড ২ (AlphaFold 2)**।

আলফা ফোল্ড কোনো সনাতন ফিজিক্স সিমুলেশন ব্যবহার করেনি। এটি প্রোটিনের ত্রিমাত্রিক সমস্যাটিকে একটি বিশেষ নিউরাল নেটওয়ার্কে রূপান্তর করে: এর **ইভোফর্মার (Evoformer)** মডিউল বিবর্তনীয় মিউটেশনের ইতিহাস এবং অবশিষ্টাংশগুলোর স্থানিক দূরত্বের তথ্যের সমন্বয়ে সরাসরি ইউক্লিডীয় স্থানে পরমাণুর ত্রিমাত্রিক স্থানাঙ্ক নিখুঁতভাবে পূর্বাভাস দিতে শুরু করে।

ফলাফল ছিল চমকপ্রদ: আলফা ফোল্ড এক্স-রে ক্রিস্টালোগ্রাফির সমতুল্য পারমাণবিক নিখুঁততায় প্রোটিনের গঠন পূর্বাভাস দিতে সক্ষম হয়। পরবর্তী দুই বছরের মধ্যে ডিপমাইন্ড এবং ইউরোপীয় মলিকিউলার বায়োলজি ল্যাবরেটরি (EMBL) পৃথিবীর সমস্ত পরিচিত জীবদেহের **২১ কোটি ৪০ লক্ষেরও বেশি প্রোটিনের** ত্রিমাত্রিক গঠন নিখরচায় উন্মুক্ত করে দেয়—যা এক লহমায় জীববিজ্ঞানের দিগন্তকে এক হাজার গুণ প্রসারিত করে!

জেনারেটিভ প্রোটিন ডিজাইন ও ২০২৪ সালের নোবেল

আলফা ফোল্ডের পাশাপাশি ওয়াশিংটন বিশ্ববিদ্যালয়ের **ডেভিড বেকার**-এর নেতৃত্বে শুরু হয় কৃত্রিম **জেনারেটিভ প্রোটিন ডিজাইন**। ডিফিউশন মডেল ব্যবহার করে বেকার এমন সব প্রোটিন তৈরি করতে শুরু করেন যা গত ৪০০ কোটি বছরের প্রাকৃতিক বিবর্তনে কোনোদিন তৈরি হয়নি।

রসায়ন এখন আর কেবল বিশ্লেষণ করে না; এটি সরাসরি আদেশ দেয়: *“আমাকে অমুক ভাইরাস ধ্বংস করার জন্য একটি রিসেপ্টর প্রোটিন তৈরি করে দাও”*—আর এআই মুহূর্তের মধ্যে সেই ত্রিমাত্রিক নকশা এঁকে দেয়। বিজ্ঞানের এই অমর মাইলফলককে স্বীকৃতি জানিয়ে **২০২৪ সালের রসায়নে নোবেল পুরস্কার** প্রদান করা হয় **ডেভিড বেকার** (কম্পিউটেশনাল প্রোটিন ডিজাইনের জন্য) এবং যৌথভাবে **ডেমিস হাসাবিস ও জন জাম্পার**-কে (প্রোটিন গঠনের এআই পূর্বাভাসের জন্য)।

উপসংহার: আলকেমি থেকে এআই পর্যন্ত মহাকাব্য

রসায়নের ইতিহাসের এই প্রামাণ্য বিশ খণ্ডের মহাযাত্রা শেষ করার সময় একবার ভেবে দেখুন মানব চিন্তার এই দীর্ঘ পথপরিক্রমা। আমরা শুরু করেছিলাম প্রাচীন সিসিলির মাটিতে এম্পিডোক্লিসের চার উপাদান—মাটি, জল, বায়ু আর আগুনের দার্শনিক চিন্তা দিয়ে। তারপর আব্বাসীয় বাগদাদের গলিত গন্ধক আর জাবির ইবনে হাইয়ানের অ্যালেম্বিক পাতনযন্ত্র, লাভোয়াজিয়ের ভরের নিত্যতা সূত্র, ডাল্টনের পরমাণুর ওজন, মেন্ডেলিফের পর্যায় সারণির স্বপ্ন, রোজালিন্ড ফ্র্যাঙ্কলিনের ডিএনএ এক্স-রে, উডওয়ার্ডের জটিল জৈব সংশ্লেষণ, ফ্রেজার স্টডার্টের আণবিক ন্যানো-মোটর এবং সবশেষে ডিপমাইন্ডের আলফা ফোল্ড কৃত্রিম বুদ্ধিমত্তা।

রসায়ন কেবল কোনো মৌল বা লবণের তালিকা নয়; এটি হলো বাস্তবতার প্রকাশের সবচেয়ে মহিমান্বিত মাধ্যম। এই রসায়নের পথ ধরেই জড় নক্ষত্রের ধূলিকণা একদিন বিবর্তিত হয়েছে আত্মসচেতন মানুষে—যে মানুষ আজ প্রকৃতির সেই আণবিক রহস্যের কোড পুনরায় পাঠ করতে সক্ষম হয়েছে।

সাইটেশন: মাহমুদ, শাকিল (2026)। "জেনারেটিভ অণু — আলফা ফোল্ড, কেমিক্যাল এআই ও উত্তর-প্রাকৃতিক পদার্থের নকশা"। রসায়নের ইতিহাস, খণ্ড ২০। https://shakilmahmud.com/bn/story-of-chemistry-part-20-generative-molecule-alphafold-chemical-ai-molecular-design-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:

Boyle, Robert (1661). *The Sceptical Chymist*. J. Cadwell for J. Crooke, London.

Lavoisier, Antoine (1789). *Traité élémentaire de chimie*. Cuchet, Paris.

Dalton, John (1808). *A New System of Chemical Philosophy*. R. Bickerstaff, London.

Mendeleev, Dmitri (1869). *The Relation between the Properties and Atomic Weights of the Elements*. Journal of the Russian Chemical Society, 1: 60–77.

Pauling, Linus (1939). *The Nature of the Chemical Bond*. Cornell University Press, Ithaca, NY.

Woodward, R. B., & Hoffmann, R. (1970). *The Conservation of Orbital Symmetry*. Verlag Chemie / Academic 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