

বিজ্ঞান হোক আনন্দের উৎস



বিজ্ঞানযাত্রা

আবিষ্কারের গল্প / পদার্থবিজ্ঞান

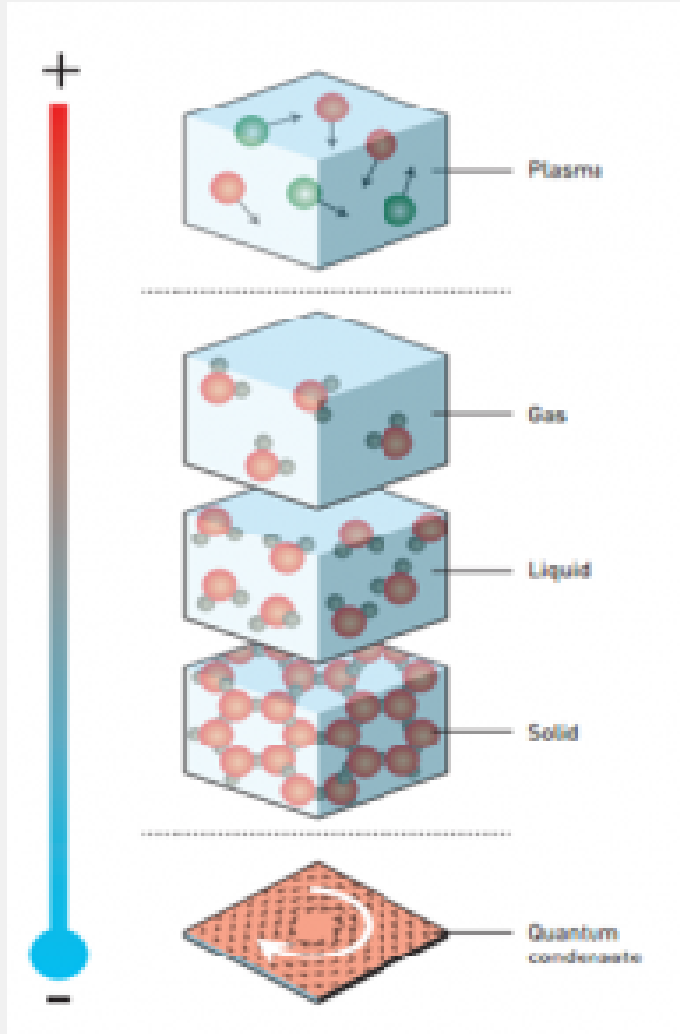
৯০

## পদার্থের আজব আচরণ

লিখেছেন সুমন পাল - জুন 19, 2017

আমাদের আচরণ পরিবেশ, পরিস্থিতি, বা ব্যক্তি বিশেষে বদলে যায়। কোনো ঘটনাকে হয়তো আমরা হেসে উড়িয়ে দিলাম, আবার কোনো ঘটনায় পরমুহূর্তেই রেগে আগুন হয়ে গেলাম। তা এই আচরণকে প্রভাবিত করল কে বা কি? উত্তর খুঁজলে পাওয়া যাবে পরিবেশ, পরিস্থিতি বা ঐ জাতীয় কোনো বাহ্যিক প্রভাবকা। শুধুমাত্র মানুষই এরকম করে তাই নয়, এমন আচরণ লক্ষ্য করা যায় পদার্থের মধ্যেও। অবস্থা ভেদে তারাও আচরণ করে আলাদা আলাদা ভাবে। এটা কোনো কথার কথা নয়। পদার্থের এই ‘আচরণ-বৈচিত্র্য’ প্রমাণ করা গেছে রীতিমত।

কোনো পদার্থ কী ভাবে কঠিন থেকে তরল কিংবা তরল থেকে গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হয়, তা আমরা সবাই কমবেশি জানি। এই তিন অবস্থায় থাকাকালীন কোন পদার্থ কীভাবে আচরণ করে, তাও সবার জানা। এই জানার মধ্যেই লুকিয়ে রয়েছে এক অজানা জগৎ। একটু তলিয়ে দেখলে বোঝা যায় যে, সব পদার্থের ধর্মগুলি কোয়ান্টাম পদার্থবিদ্যার নিয়ম দ্বারাই পরিচালিত হয়। অণুগুলোর অবিরাম গতি (random motion)-র জন্য কোয়ান্টাম পদার্থবিদ্যা লুকোনো অবস্থায় থাকে। কিন্তু চরম অবস্থায়, যেমন তাপমাত্রা যখন খুবই কম, পরমশূন্য তাপমাত্রা (-২৭৩° সেলসিয়াস)-র কাছাকাছি, কিংবা কোনো বস্তু যখন খুবই সূক্ষ্ম পাতে পরিণত হয়, তখন তার অণুগুলি অদ্ভুত আচরণ শুরু করে – যা কোনোভাবেই ওই পদার্থের সহজাত চরিত্রের মধ্যে পড়ে না। কোয়ান্টাম পদার্থবিদ্যা হয়ে ওঠে দৃশ্যমান (চিত্র ১)।



চিত্র ১ – পদার্থের সাধারণ তিনটি দশা হল কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়। কিন্তু অত্যন্ত উচ্চ বা নিম্ন তাপমাত্রায় পদার্থের আরও বহিরাগত দশা (exotic state) থাকতে পারে।

সাধারণ তাপমাত্রায় যে বস্তু মোটামুটি বিদ্যুৎ পরিবাহী, অতি কম তাপমাত্রায় সেটিই অতি-সুপরিবাহী হয়ে ওঠে। কিংবা খুবই পাতলা ম্যাগনেটিক ফিল্মে পাওয়া যায় বিশেষ কিছু বৈশিষ্ট্য। কেন? পদার্থের বিভিন্ন অবস্থায় বিদ্যুৎ পরিবহণ নিয়ে কাজ করছিলেন অনেকে। বিজ্ঞানীদের প্রাথমিক ধারণা ছিল খুবই কম তাপমাত্রার মতো চরম কোনও পরিস্থিতিতে পদার্থের ধর্মের শৃঙ্খলা বুঝি নষ্ট হয়ে যায়। বিজ্ঞানীদের সামনে প্রশ্ন ছিল, পদার্থের ওই আপাত অস্বাভাবিক আচরণেরও নিশ্চয়ই কোনও সুনির্দিষ্ট ধরন আছে। গবেষণায় দেখা যায়, আপাত ভাবে এলোমেলো বদলের মধ্যেও একটা শৃঙ্খলা আছে। আছে নির্দিষ্ট ছন্দ। আমাদের চারপাশের ত্রিমাত্রিক বিশ্ব পদার্থবিদ্যার যে নিয়মকানুন মেনে চলে তা পুরোপুরি বদলে যেতে পারে যদি তা দ্বিমাত্রিক (flatlands) তল বিশিষ্ট হয়ে যায়। খুব পাতলা flatlands লক্ষ লক্ষ পরমাণু নিয়ে গঠিত। প্রতিটি পরমাণুর আচরণ কোয়ান্টাম পদার্থবিদ্যা ব্যবহার করে ব্যাখ্যা করা যেতে পারে, কিন্তু এরা যখন একসঙ্গে দ্বিমাত্রিক তল গঠন করে তখন সম্পূর্ণভাবে ভিন্ন বৈশিষ্ট্যাবলী প্রদর্শন করে।

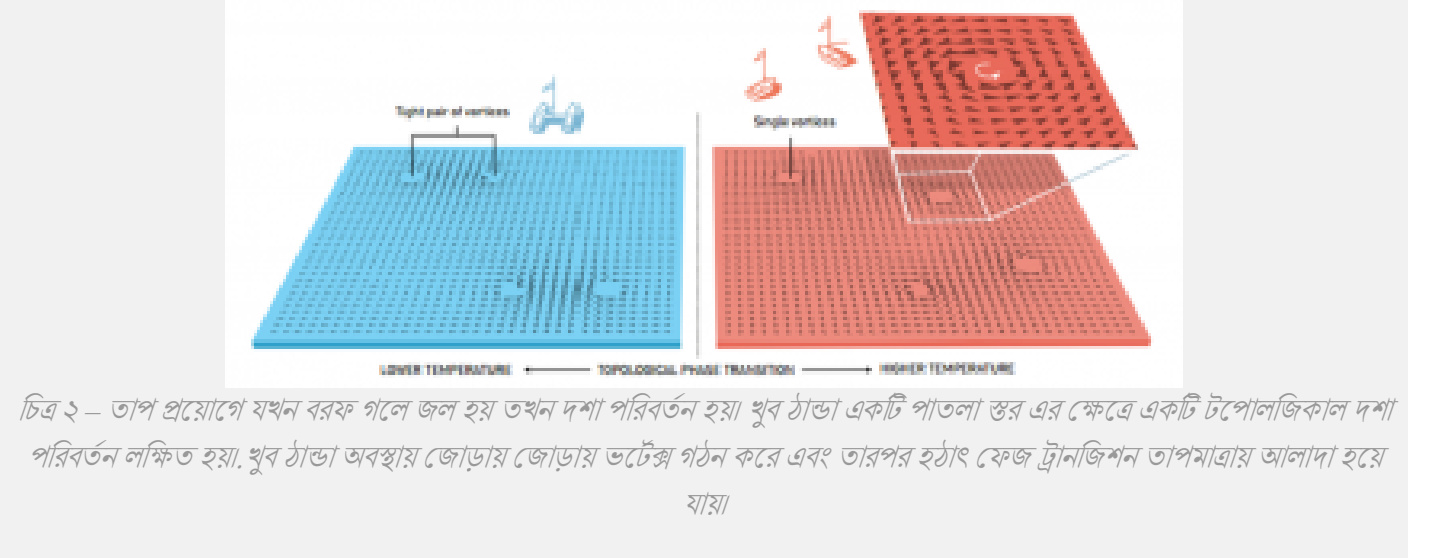
আর একটি উদাহরণ ধরা যাক। নরম নিরেট একটা রবারের বল বা খোলা ছাড়ানো সেক্স ডিম নেওয়া হল। আঙুলের সামান্য চাপে এগুলির আকার বদলে দেওয়া যায়। কিংবা রবারের একটা ফিতো টানলে লম্বা হয়। বাঁকানো ও মোচড়ানোও যায়। একো জলের ঘূর্ণির মাঝে যেমন

<https://bigganjatra.org/strange-behavior-of-matters/>

6/20/2017

পদার্থের আজব আচরণ – বিজ্ঞানযাত্রা

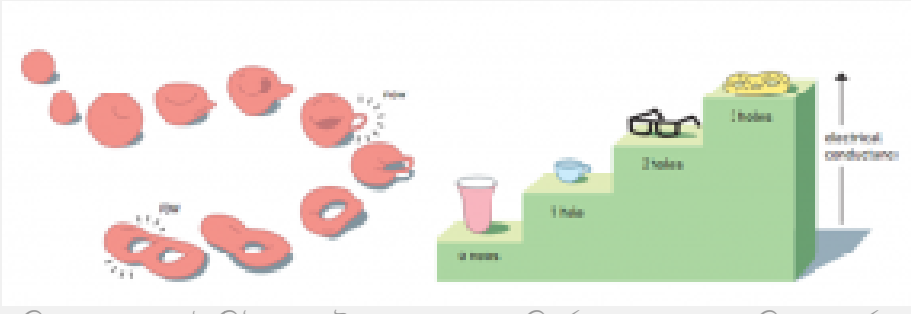
গোল গর্ত (ভটেক্স) তৈরি হয়, তেমনই অণুগুলির মাঝে থাকে অনেক গর্ত বা ভটেক্স। বস্তুকে বাঁকানো বা মোচড়ানো হলে ওই গর্তগুলির আকার, আয়তন ও বিন্যাসে ধারাবাহিক কিছু বদল ঘটে। অবশ্যই বস্তুটি ভেঙে বা ছিঁড়ে না যাওয়া পর্যন্ত। তাপমাত্রা বাড়লে বস্তুর ভিতরে গর্ত বা ফোকরগুলি দূরে সরে যায় (চিত্র ২)। উষ্ণতা কমলে কাছে আসে। এতে দশা পাল্টায় বস্তুর।



গবেষকরা দীর্ঘদিন যাবৎ বিশ্বাস করতেন যে তাপীয় বিতাড়ন একটি দ্বি-মাত্রিক বিশ্বের সমস্ত দৈশিক নিয়ম ভেঙে দিতে পারে, এমনকি পরম শূন্য তাপমাত্রায়ও। দশায় যদি কোন ছন্দই না থাকে তাহলে ছন্দ পতনেরও কোন ব্যাপার থাকে না। সেই সাবেক কৌতুহল ও অজ্ঞতা থেকে বের হয়ে আসার চ্যালেঞ্জই বিজ্ঞানীরা গ্রহণ করেন ফেজ ট্রানজিশন সমস্যার ক্ষেত্রে। আর এই গবেষণাই বিংশ শতাব্দীর পদার্থবিজ্ঞানের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কারের মধ্যে অন্যতম। এটাকে বলে KT রূপান্তর (Kosterlitz-Thouless রূপান্তর)। এই তত্ত্ব সম্পর্কে বিস্ময়কর ব্যাপার হলো, এটি সার্বজনীন; কারণ কম তাপমাত্রায় যে কোনো পদার্থের ক্ষেত্রে এটি ব্যবহার করা যেতে পারে। এটা শুধুমাত্র ঘনীভূত বস্তুর পদার্থবিজ্ঞানের ক্ষেত্রেই নয়, পারমাণবিক পদার্থবিদ্যা বা পরিসংখ্যানগত পদার্থবিজ্ঞান ও অন্যান্য শাখার আলোচনার একটি গুরুত্বপূর্ণ হাতিয়ার। KT রূপান্তর তত্ত্ব পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণ করাও সম্ভব হয়েছে।

পদার্থের আচরণের যে বিশেষ দিকগুলি আলোচনা করা হলো, সেগুলিকে ঠিকমতো ব্যাখ্যা করার জন্য বিজ্ঞানীদের আশ্রয় নিতে হলো অংকের এক বিশেষ ধারার, যার নাম টপোলজি। সবকিছু বিষয়কেই অঙ্কের সমীকরণে ব্যাখ্যা করা যায়, আমরা সেই জটিল গাণিতিক বিশ্লেষণে না গিয়ে সহজ করে বরং ব্যাপারটি বোঝার চেষ্টা করবো। টপোলজি – অর্থাৎ পদার্থের ভৌত অবস্থার বৈশিষ্ট্য ও শূন্যস্থান নিয়ে কাজ করা হয় গণিতের যে শাখা। একটি বস্তুর প্রসারিত, পাকানো বা বিকৃত হয়ে থাকা দশায় প্রচুর বলপ্রয়োগেও অবস্থার কোনো পরিবর্তন হয় না। টপোলজির ভাষায়, একটি নিরেট গোলক এবং একটি ফাঁপা বাটি একই বিভাগের অন্তর্গত, কারণ মাটির একটি গোলাকার তালকেই একটি বাটিতে রূপান্তরিত করা যেতে পারে। একইরকম ভাবে, মাঝখানে গর্ত থাকা একটি পাউরুটির সঙ্গে একটি হ্যান্ডেলওয়ালা কফিকাপ সমগোত্রী। অর্থাৎ বলা যেতে পারে যে, টপোলজিকাল অবজেক্টের একটি গর্ত, বা দুইটি, বা তিনটি, বা চারটি গর্ত থাকতে পারে – কিন্তু এই সংখ্যা একটি পূর্ণসংখ্যা হতে হবে (চিত্র ৩)।

<https://bigganjatra.org/strange-behavior-of-matters/>



চিত্র ৩ – টপোলজি – গণিতের এ শাখার বৈশিষ্ট্য হল এই যে ধাপে ধাপে পরিবর্তন হয় যে সকল রাশির তার চর্চা। যেমন এই চিত্রে দেখানো ক্রমাগত বেড়ে চলা গর্ত সংখ্যা। কেন তড়িৎ পরিবাহিতা পূর্ণসংখ্যার পদক্ষেপে পাতলা স্তরে পরিবর্তন হয় তা টপোলজি ব্যাখ্যা করে।

এবার একটু পিছিয়ে যাওয়া যাক। রহস্যময় যে ঘটনাটি ডেভিড থুলেস টপোলজি ব্যবহার করে তাত্ত্বিকভাবে বর্ণনা করেন তা হলো, ‘কোয়ান্টাম হল’ প্রভাব। ১৯৮০ সালে জার্মান পদার্থবিদ ক্লস ভন ক্লিতজিং এই ঘটনাটি আবিষ্কার করেন যার জন্য ১৯৮৫ সালে তিনি নোবেল পুরস্কার পান। তাঁর পরীক্ষার বিষয় ছিল দুটি অর্ধ পরিবাহীর মধ্যে একটি পাতলা স্তর, যেখানকার ইলেকট্রনগুলিকে পরম শূন্য তাপমাত্রার সামান্য কিছু উপরে এবং শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা হয়েছিল, ‘কোয়ান্টাম হল’ প্রভাব পর্যবেক্ষণের জন্য। পদার্থবিদ্যায় নিম্ন তাপমাত্রায় অনেকক্ষেত্রেই দেখা গেছে যে, অনেক বস্তুই চৌম্বক ধর্ম দেখায়। এর কারণ হলো সব ছোট ছোট পারমাণবিক চুম্বক উপাদানগুলি হঠাৎ একই দিক বরাবর সজ্জিত হয়ে একটি শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্র তৈরি করে যা কিনা পরিমাপও করা যায়। এই অবস্থায় পাতলা স্তরে বৈদ্যুতিক পরিবাহিতা একটি অত্যন্ত সুনির্দিষ্ট মান পাবে, যা কোয়ান্টাম পদার্থবিদ্যার পরিপন্থী। তাপমাত্রা, চৌম্বক ক্ষেত্র বা অর্ধপরিবাহীর মধ্যকার অশুদ্ধির পরিমাণ পরিবর্তন করলেও অদ্ভুতভাবে পরিমাপের ফলাফল একই হয়। চৌম্বক ক্ষেত্র যখন যথেষ্ট পরিবর্তন করা হয়, তখন স্তরে বৈদ্যুতিক পরিবাহিতাও পরিবর্তিত হয়, কিন্তু সেটা হয় শুধু ধাপে ধাপে দ্বিগুণ, তিনগুণ, চারগুণ এইভাবে; এই ধাপে ধাপে পরিবর্তন কোন চালু তত্ত্ব দিয়ে ব্যাখ্যা করা যায়নি; ফলে সাহায্য নিতে হল গণিতের নতুন তত্ত্ব টপোলজি-র। এর সাহায্যেই এই হেঁয়ালির সমাধান হয়।

‘কোয়ান্টাম হল’ ঘটনায়, ইলেকট্রনগুলি দুটি অর্ধ পরিবাহীর একটি পাতলা স্তরের মধ্যে তুলনামূলকভাবে অবাধে গতিশীল হয় এবং একে একটি ‘টপোলজিকাল কোয়ান্টাম ফ্লুইড’ নামে অভিহিত করা যেতে পারে। প্রায়ই যখন অনেক কণা একসঙ্গে থাকে, তখন বস্তুটি বিস্ময়কর বৈশিষ্ট্য প্রদর্শন করে, একইভাবে ‘টপোলজিকাল কোয়ান্টাম ফ্লুইড’-এর মধ্যে ইলেকট্রনগুলিও বিস্ময়কর ধর্ম দেখাতে পারে। ঠিক যেমন একটি কফি কাপে একটি গর্ত আছে কিনা তা যেমন কাপটির শুধুমাত্র একটি ছোট অংশের দিকে তাকিয়ে নির্ধারণ করা যায় না, তেমনি অল্প কয়েকটি ইলেকট্রনকে পর্যবেক্ষণ করে এটাও দাবী করা যায় না যে, তারা একটি ‘টপোলজিকাল কোয়ান্টাম ফ্লুইড’ তৈরি করেছে কি করেনি।

তবে, যেহেতু বৈদ্যুতিক পরিবাহিতা ইলেকট্রনের সমষ্টিগত গতির বর্ণনা করে এবং টপোলজির কারণে তা ধাপে ধাপে পরিবর্তিত হয়; তাই এই ধর্মটি কোয়ান্টায়িত। ‘টপোলজিকাল কোয়ান্টাম ফ্লুইড’-এর আরেকটি চরিত্র হল যে তার সীমানা বরাবর অস্বাভাবিক বৈশিষ্ট্য। এই বৈশিষ্ট্য তত্ত্ব দ্বারা প্রতিষ্ঠিত এবং পরে পরীক্ষামূলকভাবে যাচাইও করা গেছে। পরবর্তীতে চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতেও ‘কোয়ান্টাম হল’ প্রভাব পরিলক্ষিত হয়।

চুম্বক পরমাণুগুলির পারমাণবিক চরিত্রের উপর নির্ভর করে মৌলিকভাবে পৃথক চেইনগুলির বৈশিষ্ট্য ধরা পড়ে চুম্বক চেইনগুলির তাত্ত্বিক গবেষণায়। কোয়ান্টাম পদার্থবিজ্ঞানে দুই ধরনের পরমাণু চুম্বক রয়েছে, অযুগ্ম (odd) ও যুগ্ম (even)। প্রমাণ হয় যে, যুগ্ম চুম্বক দ্বারা গঠিত চেইন টপোলজিকাল, কিন্তু অযুগ্ম চুম্বক দ্বারা গঠিত চেইন টপোলজিকাল নয়। ‘টপোলজিকাল কোয়ান্টাম ফ্লুইড’-এর মতই একটি পারমাণবিক চেইন টপোলজিকাল কিনা তা তার একটি ছোট অংশ দেখে নির্ধারণ করা সম্ভব নয়; এবং, ঠিক যেমন কোয়ান্টাম ফ্লুইড-এর ক্ষেত্রে টপোলজিকাল বৈশিষ্ট্য প্রাপ্তে নিজেই প্রকাশ করে, তেমনি এখানে, এই শৃঙ্খল প্রাপ্তে টপোলজিকাল ধর্ম প্রকাশিত হয়। স্বভাবতই

6/20/2017

পদার্থের আজব আচরণ – বিজ্ঞানযাত্রা

প্রথমদিকে কেউ চুম্বক পরমাণু শৃঙ্খলের তত্ত্বে বিশ্বাস করেনি। ‘কোয়ান্টাম হল ফ্লুইড’ ও ‘যুগ্ম চুম্বক পারমাণবিক চেইন’ উভয়ই টপোলজিক্যাল দশার এক নতুন শ্রেণিতে অন্তর্ভুক্ত হয়েছে। পরে, গবেষকরা বিষয়টি সম্পর্কে অন্যান্য অপ্রত্যাশিত টপোলজি রাজ্যের আবিষ্কার করেন, শুধুমাত্র চেইন বা পাতলা সীমানা স্তর বিশিষ্ট পদার্থের মধ্যে নয়, সাধারণ ত্রিমাত্রিক পদার্থের মধ্যেও।

কয়েক বছর আগে অস্কের মারপ্যাঁচে পদার্থের এই ‘আচরণ-বৈচিত্র্য’ প্রমাণ করে দেন ব্রিটিশ বংশোদ্ভূত তিন বিজ্ঞানী-ডেভিড থুলেস, ডানকান হ্যালডেন এবং মাইকেল কস্টেরলিৎজ (চিত্র ৪)। যে কীর্তির জন্য ২০১৬ তে তাঁরা জিতে নিলেন নোবেল পুরস্কার।



অজানা জগতের দরজা খুলে দিয়েছে এই তিন বিজ্ঞানীর আবিষ্কার। তাঁদের এই আবিষ্কারের ঘোড়ায় সওয়ার হয়ে, একদিকে যেমন নতুন পদার্থ সৃষ্টি করা সম্ভব, তেমনি সম্ভব সুবিশাল এই সৌরজগতের বহু রহস্যেরই সমাধান খুঁজে বের করা। অঙ্ক কষে পদার্থের অস্বাভাবিক আচরণকে ব্যাখ্যা করেছেন বিজ্ঞানীরা, এটাই তাঁদের বিশেষত্ব। একটি কম্পিউটারকে আমরা কতটা ভালভাবে চালাতে পারব, তা নির্ভর করে কম্পিউটারের মধ্যে থাকা পদার্থগুলি আমাদের কতটা নিয়ন্ত্রণে আছে, তার উপর। আর তাই পদার্থের নাড়ি-নক্ষত্র হাতের মুঠোয় মানাই, প্রযুক্তিও হাতের মুঠোয়। এখনকার যোগাযোগ ব্যবস্থা থেকে শুরু করে কোয়ান্টাম কম্পিউটার বা সুপার-কম্পিউটারের হাল-হকিকত বদলে দেওয়ার পথ খুলে দিয়েছে পদার্থের এই আচরণ অনুশীলনা। ভবিষ্যতে প্রযুক্তির বিস্তারকে নতুন মাত্রায় নিয়ে যেতে কালজয়ী ভূমিকা নেবে এই আবিষ্কার।

নোবেল কমিটির সদস্যরা এই আবিষ্কারকে নিম্নলিখিতভাবে বিশেষায়িত করেছেন,

“

*This year's Laureates opened the door on an unknown world where matter exists in strange states. The*

*Nobel Prize in Physics 2016 is awarded with one half to **David J. Thouless**, University of Washington, Seattle, and the other half to **F. Duncan M. Haldane**, Princeton University, and **J. Michael Kosterlitz**, Brown University, Providence. Their discoveries have brought about breakthroughs in the theoretical understanding of matter's mysteries and created new perspectives on the development of innovative materials.*

<https://bigganjatra.org/strange-behavior-of-matters/>

6/20/2017

পদার্থের আজব আচরণ – বিজ্ঞানযাত্রা

তথ্যসূত্র

<http://www.nobelprize.org/>

ট্যাগস:

Phase Transition

Physics

Topology



### সুমন পাল

লেখক হরেন্দ্র কুমারী বিদ্যাপীঠে সহকারী শিক্ষক এবং ঋষি বঙ্কিম চন্দ্র সান্ন্য মহাবিদ্যালয়ের পদার্থবিদ্যা বিভাগে অতিথি অধ্যাপক রূপে কর্মরত। লেখাপড়া কলকাতার বিদ্যাসাগর কলেজ থেকে পদার্থবিদ্যায় স্নাত্ত্বিক স্নাতক ও কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয় (University College of Science) থেকে পদার্থবিদ্যায় স্নাতকোত্তর। পরে মাদবপুর বিশ্ববিদ্যালয় থেকে B.Ed. এবং Ph.D.। গবেষণার ক্ষেত্র – আয়নমণ্ডলের প্লাজমা ও তাপীয় ঘটনাবলী, আবহবিদ্যুৎ ও চুম্বান অন্বেষণ, রেডিও তরঙ্গ, ভূকম্পন। বর্তমানে, কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের Centre of Advanced Study in Radio Physics and Electronics-এ আংশিক সময়ের গবেষক।

<https://bigganjatra.org/strange-behavior-of-matters/>