

# Fifth State In Cosmos And The Cold Atom Lab

Purna Chandra Bhunia

Assistant Teacher, Debra Harimati Saraswat Vidyamandir, NH6, Debra, West Bengal, 721126

p.bhunias1@gmail.com

আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের বিজয়রথের চাকা গড়গড়িয়ে চলতে শুরু করে বিংশ শতাব্দীর শুরু থেকে। কোয়ান্টাম বলবিদ্যায় বিপ্লব এসেছে এসময়। এমন বিপ্লবের কাণ্ডারি বেশ কয়েকজন বিশ্ববিখ্যাত বিজ্ঞানী। তাদের সম্মিলিত প্রয়াস কোয়ান্টাম মেকানিক্সে আমূল বদল এনে দেয়। তৈরি হল নতুন কোয়ান্টাম নিয়মকানুন। অনেক পণ্ডিতের অনেক নিয়ম। এদের মধ্যে একজন উপেক্ষিত জিনিয়াস বাঙালি পদার্থবিজ্ঞানী সত্যেন্দ্রনাথ বসু। ১৯২৪ সালে তিনি লিখলেন একটি গুরুত্বপূর্ণ প্রবন্ধ। 'Planck's Law and Light Quantum Hypothesis'। তাঁর এই আবিষ্কারকে চতুর্থ কোয়ান্টাম বিপ্লবের আখ্যা দেওয়া যায়। প্রথম ম্যাক্স প্লাঙ্কের অনুমান (১৯০০), দ্বিতীয় আইনস্টাইনের আলোককণার ধারণা (১৯০৫) এবং তৃতীয় নীলস বোর-এর পরমাণু মডেল (১৯১৩)-এর পরে। অবশ্য শ্রীবসু তখন ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়ের তরুণ 'রিডার'। প্রবন্ধটি ছাপতে পাঠিয়ে দিলেন ইংল্যান্ডের ফিলোজফিক্যাল ম্যাগাজিনে। ছ'মাস পরে নেতিবাচক মন্তব্যসহ সেটি ফিরে এল ঢাকায়। ফিলোজফিক্যাল ম্যাগাজিন আর্টিক্যালটি ছাপতে অপারগ। কারণ বিষয়ের গ্রহণযোগ্যতার অভাব। অগত্যা নিরুপায় হয়ে তিনি নিবন্ধটি অ-দৃষ্ট আইনস্টাইনকে পাঠানোর সিদ্ধান্ত নিলেন। ১৯২৪ সালের ৪-ঠা জুন প্রবন্ধটি পড়ে তার গুণগত মান উপলব্ধি করলেন আইনস্টাইন। অসাধারণ বৈভবপূর্ণ আর্টিকেলটি তিনি প্রথমে জার্মান ভাষায় অনুবাদ করেন। তারপর নিজের একটি ফুটনোটসহ সেটি ছাপতে পাঠিয়ে দেন বিখ্যাত 'Zeitschrift fur Physik' সাময়িকীতে, সে-বছর জুলাই মাসে। প্রবন্ধটি প্লাঙ্কের কোয়ান্টাম তেজস্ক্রিয়তা নীতি ক্লাসিক্যাল পদার্থবিজ্ঞানের সাহায্য ছাড়াই প্রতিপাদন করে এবং সদৃশ আলোক কণার সাহায্যে দশার সংখ্যা গণনার একটি চমৎকার উপায় উদ্ভাবন করে। আইনস্টাইন আলোককণার বদলে ওই সংখ্যায়ন প্রয়োগ করেন পদার্থকণায় যাকে এখন বোসন গ্যাস (Bosan Gas) বলা হয়। এ হেন পরিসংখ্যানই পরবর্তীকালে 'বসু-আইনস্টাইন সংখ্যায়ন' নামে পরিচিতি লাভ করে। সত্যেন্দ্রনাথের আবিস্কৃত প্রবন্ধের রেস ধরে আইনস্টাইন আরও দুটি আর্টিকেল লেখেন। ১৯২৪ - ১৯২৫ সালে।

## বসু-আইনস্টাইন সংখ্যায়ন (Bose Einstein Statistics) কী?

কোন সময়ে একটি কণার অবস্থান, তা থেকে তার গতিবেগ, ভরবেগ ও কণার সঞ্চারপথ জানা যায় নিউটনীয় বলবিদ্যার সাহায্যে। কিন্তু যেখানে বহুসংখ্যক কণার সমাবেশ, সেখানে তাদের সবার গতিপ্রকৃতি নির্ধারণ করা নিউটনীয় বলবিদ্যায় অসম্ভব। তার জন্য চাই সংখ্যানিক পদ্ধতি। সংখ্যানিক পদ্ধতি হল বহুসংখ্যক কণিকা সমাবেশে তাদের আচরণ নির্ধারণ করা এবং বহুসংখ্যক শক্তিস্তরে তাদের নীতি ভিত্তিক বন্টন বা বিন্যাস। যেমন ধরা যাক, তিনটি শক্তিকক্ষে দুটি কণার সম্ভাব্য বিন্যাস কেমন হবে? কণাদুটির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে বন্টন সংখ্যা। কণাদুটি সদৃশ (Identical) হলে এবং আর কোনও শর্ত আরোপিত না হলে বিন্যাস সংখ্যা হবে ছয়। কীভাবে? মনে করি, দুটি কণা a এবং b। a ও b কণাদুটি একসঙ্গে একবার প্রথম কক্ষে (তখন দ্বিতীয় ও তৃতীয় কক্ষদুটি ফাঁকা থাকে), তারপর দ্বিতীয় কক্ষে (তখন প্রথম ও তৃতীয় কক্ষ ফাঁকা) ও শেষে তৃতীয় কক্ষে (তখন প্রথম ও দ্বিতীয় কক্ষ ফাঁকা) থাকতে পারে। এখানে বিন্যাস সংখ্যা হল তিন। আবার, a কণাটি প্রথম কক্ষে ও b কণাটি দ্বিতীয় কক্ষে (তখন তৃতীয় কক্ষ ফাঁকা); a কণাটি প্রথম কক্ষে ও b কণাটি তৃতীয় কক্ষে (তখন দ্বিতীয় কক্ষ ফাঁকা); a কণাটি দ্বিতীয় কক্ষে ও b কণাটি তৃতীয় কক্ষে (তখন প্রথম কক্ষ ফাঁকা) অবস্থান করলে বিন্যাস সংখ্যা হবে তিন। এখন কণাদুটি অভিন্ন (অর্থাৎ দুটোই যদি a ও a হয়) হওয়ায় উপরের নিয়মে তিনটি শক্তিস্তরে দুটি পারটিকেলের মোট বিন্যাস সংখ্যা হবে ৬। কণাদুটি অ-সদৃশ হলে বন্টন সংখ্যা হত ১২। কক্ষ ও কণাসংখ্যা বাড়লে বিন্যাস আরও জটিল ও কঠিন আকার ধারণ করে। সুতরাং একটি সংস্থার বিভিন্ন কোয়ান্টাম শক্তি স্তরে এ রকম বহুসংখ্যক হুবহু একই কণিকার বিন্যাস হল বসু-আইনস্টাইন সংখ্যায়ন (B.E. Statistics)। বিশ্বজগতের যে কণাগুলির স্পিন পূর্ণসংখ্যা (০, ১, ২, ৩ ইত্যাদি), তারা বসু-আইনস্টাইন সংখ্যায়ন নীতি

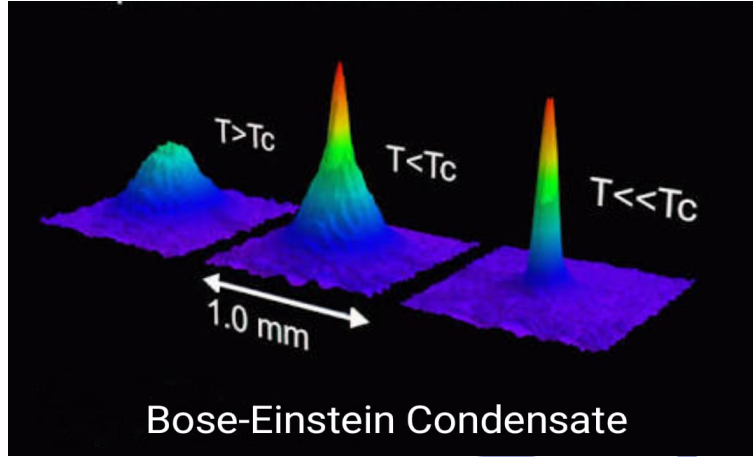


Figure 1: Temperature Contour Plot Showing The Atom Cloud

মেনে চলে। স্পিন হল গতির অভিমুখে বা তার বিপরীত দিকে নিজ অক্ষের চারদিকে একটি কণার ঘূর্ণন। এ হেন পূর্ণসংখ্যার স্পিন কণিকাগুলিকে শ্রীবসুর নামে বিজ্ঞানী পল ডিরাক নামকরণ করেন 'বোসন'। তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ বিনিময়কারী কণা ফোটন; মহাকর্ষ তরঙ্গের কোয়ান্টাম গ্র্যাভিটন; তীব্র নিউক্লিয় বল সংযোগকারী গ্লুয়ন কণা; মৃদুবল অদলবদলের জন্য দায়ী তিনটি কণা ডব্লিউ প্লাস, ডব্লিউ মাইনাস ও জেড জিরো হল বোসন গ্রুপের কণা। এছাড়াও বোসন কণার উদাহরণ হল পাই-মেসন বা পায়ন (পাই প্লাস, পাই মাইনাস, নিউট্রাল পাই), কে-মেসন বা কেয়নস (নেগেটিভ কেয়ন, নিউট্রাল কেয়ন), ইটা-জিরো মেসন ইত্যাদি এবং তাদের অ্যান্টিপারটিক্যাল।

বসু-আইনস্টাইন সংখ্যায়নের এই ধারণাটি আইনস্টাইন প্রয়োগ করলেন পরমাণুতে। প্রতিপাদ্য হিসাবে উদ্ভব হল নতুন প্রপঞ্চ যা বসু-আইনস্টাইন ঘনীভবন (Bose Einstein Condensate) নামে পরিচিত। এটি আসলে বোসন কণিকার একটি ঘনীভূত সুপ। সুপার অ্যাটম।

### বসু-আইনস্টাইন ঘনীভবন (Bose Einstein Condensate) কী? কেমন সেই অবস্থা?

বহুসংখ্যক কণা সমন্বিত একটি সংস্থার শক্তিক্ষেত্রের সংখ্যা, তত্ত্বগতভাবে, অসীম। সাধারণ ঘরের তাপমাত্রায় (27° C বা 300° K) তাপীয় উত্তেজনার জন্য একটি ভৌম শক্তিস্তরে (Ground Energy Level যা সর্বনিম্ন শক্তিস্তর) বা উদ্দীপ্ত কক্ষে (Excited State) এক বা তার বেশি বোসন কণা অবস্থান করতে পারে। আবার কোন কক্ষ ফাঁকা থাকতেও পারে। শক্তি বেশি হলে বোসনগুলি উচ্চ শক্তিস্তরে থাকবে; নতুবা শক্তি কম হলে নিম্ন শক্তিস্তরে অবস্থান করবে। এখন উষ্ণতা ক্রমাগত হ্রাস করলে বোসনগুলির শক্তিও ক্রমশ কমতে থাকে। তারা তখন উচ্চ শক্তি স্তর থেকে লাফ দিয়ে তুলনামূলক নিম্ন শক্তি কক্ষে অবস্থান করতে বাধ্য হয়।

এতদিন আমরা জেনে এসেছি পদার্থের তিন অবস্থা কঠিন, তরল ও গ্যাস। বরফ, জল এবং জলীয় বাষ্প। ধরা যাক, লোহা। ঘরের তাপমাত্রায় তা কঠিন। ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করলে 1538° C তাপমাত্রায় প্রথমে তরলে ও 2862° C উষ্ণতায় পরে তা বাষ্পে পরিনত হয়। এছাড়াও লোহার আরেকটি অবস্থা আছে। প্লাজমা অবস্থা। খুব উচ্চ তাপমাত্রায় লোহা থেকে এক বা একাধিক ইলেকট্রন (মুক্ত ইলেকট্রন নয়) বের হয়ে যায়। ঋণাত্মক তড়িৎধর্মী ইলেকট্রন বের হয়ে গেলে লোহা ধনাত্মক আয়নে পরিনত হয়। লোহার এই ধনাত্মক আয়ন এবং ঋণাত্মক ইলেকট্রনের উচ্চ ঘনত্বের আয়নীয় অবস্থাকে প্লাজমা অবস্থা বলা হয়।

বসু-আইনস্টাইন ঘনীভবন অবস্থা হল পদার্থের পঞ্চম অবস্থা যখন তরলীভূত বোসন গ্যাস পরম শূন্য তাপমাত্রার খুব কাছাকাছি তাপমাত্রায় (অর্থাৎ 0° K বা -273° C উষ্ণতার খুব কাছে) ঠাণ্ডা করা হয়। এই অবস্থায় বোসনের একটি বৃহৎ অংশ সর্বনিম্ন কোয়ান্টাম অবস্থা (Ground State) দখল করে, এবং এই মূল্যে ম্যাক্রোস্কোপিক কোয়ান্টাম ঘটনা স্পষ্টভাবে প্রতীয়মান হয়ে ওঠে। এ অতি কম তাপমাত্রায় পদার্থ সম্পূর্ণ বিনা বাধায় তড়িৎ পরিবহন করে। পাত্রের গা বেয়ে উপরে উঠতে শুরু করে। অতিরিক্ত লঘু ঘনত্বের গ্যাসকে (সাধারণ গ্যাসের ঘনত্বের এক শত-সহস্রাংশ) অতি কম তাপমাত্রায় ঠাণ্ডা করে এটি তৈরি করা হয়।

১৯৩৮ - এ জার্মান ফিজিসিস্ট ফ্রিৎজ ওল্ফগ্যাং লন্ডন সুপারকন্ডাক্টিভিটি এবং হিলিয়াম - 4 -এর সুপারফ্লুইডিটি'র মেকানিজম

হিসাবে বসু-আইনস্টাইন ঘনীভবনের প্রস্তাব দেন।

কিন্তু হাতে-গরম প্রমাণ কই? ল্যাবরেটরির প্রামাণ্য তথ্য না হলে কোনও থিওরি'র বিশ্বাসযোগ্যতা তৈরি হয় না। চাই এক্সপেরিমেন্টাল প্রফ। যাকে বলে হাতে-নাতে প্রমাণ। তো, মিলল তেমন প্রমাণ, ১৯৯৫ সালের ৫-ই জুন। সেই দিন এরিক করনেল ও কার্ল উইম্যান সর্বপ্রথম গ্যাসের ঘনীভূত অবস্থা তৈরি করলেন ল্যাবে। রুবিডিয়াম পরমাণু-গ্যাসকে ১৭০ ন্যানো-কেলভিন তাপমাত্রায় ঠাণ্ডা করে। পরে MIT-র ওল্ফগ্যাঙ্গ কেটোরলে সোডিয়ামের পরমাণু-গ্যাসের ক্ষেত্রেও একই অবস্থা লক্ষ্য করলেন। তবে তা অল্প সময়ের জন্য। এ হেন অবস্থা স্থায়ী হয়েছিল মাত্র কিছু মাইক্রো - সেকেন্ড (এক সেকেন্ডের ১০০০,০০০ ভাগের এক ভাগ সময়)। সেজন্য ২০০১ সালে তিন বিজ্ঞানী পেলেন পদার্থবিজ্ঞানে নোবেল পুরস্কার। কিন্তু এত অল্প সময়ের অস্তিত্বে কি পণ্ডিতদের মন ভরে? ভরে না। চাই আরও বেশি সময়ের জন্য পদার্থের পঞ্চম অবস্থার স্থায়িত্ব। তার আবার বিস্তার সমস্যা। সমস্যা তৈরি করে মূলত পৃথিবীর অভিকর্ষ। অতি কম তাপমাত্রায় পদার্থের কণাগুলি একে অপরকে বিকর্ষণ করে। সেজন্য অভিকর্ষ বাধা দেয় অত কম তাপমাত্রায় পৌঁছতে। এর জন্য পৃথিবীর কোনও ল্যাবরেটরিতে বেশি সময় ধরে প্রমাণ শূন্য তাপমাত্রার কাছাকাছি উষ্ণতায় পৌঁছানো কার্যত অসম্ভব। তার জন্য প্রয়োজন 'জিরো গ্র্যাভিটি'। একমাত্র জিরো গ্র্যাভিটিতেই সম্ভব এমন এক্সপেরিমেন্ট আর এর আদর্শ জায়গা হল আন্তর্জাতিক স্পেস স্টেশন (International Space Station বা ISS)। আন্তর্জাতিক স্পেস স্টেশন হল একটি কৃত্রিম উপগ্রহ যা পুরো পৃথিবীকে ৯৩ মিনিটে একবার সম্পূর্ণ প্রদক্ষিণ করে। এই উপগ্রহটি মূলত সোভিয়েত রাশিয়া এবং ইউএসএ-এর যৌথ সম্পাদনায় ১৯৯৮ সালের জুন মাস থেকে কাজ শুরু করে। এটি পৃথিবী পৃষ্ঠ থেকে গড়ে ৩৫০ - ৪০০ কিলোমিটার উচ্চতায় স্থাপিত এবং নিরক্ষরেখার সঙ্গে ৫১.৬৪° কোণ করে আছে। একমাত্র সেখানে করা যেতে পারে এমন এক্সপেরিমেন্ট। যেমন ভাবা অমনি কাজ। সময়টা ২০১৬ সাল। নাসা সিদ্ধান্ত নিল আন্তর্জাতিক স্পেস



Figure 2: Cold Atom Laboratory

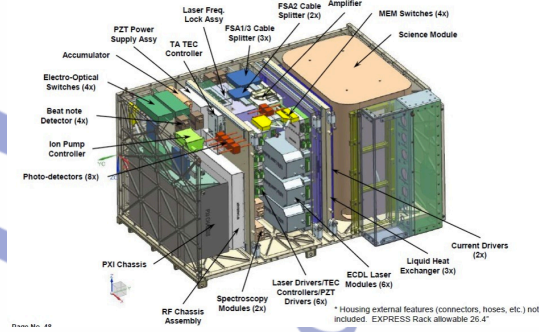


Figure 3: Diagram Of The Instrument

স্টেশনে একটি কোল্ড অ্যাটম ল্যাবরেটরি তৈরি। ক্যালিফোর্নিয়ায় পাসাডেনা'র জেট প্রোপালসান ল্যাবরেটরি (JPL)-তে তৈরি হল কোল্ড অ্যাটম ল্যাব (CAL)। প্রথমে ২০১৭ সালে লঞ্চ করার কথা থাকলেও অনিবার্য কারণে তা পিছিয়ে যায়। শেষে ২০১৮ সালের ২১-শে মে এটির সফল উৎক্ষেপণ করা হয় আন্তর্জাতিক স্পেস স্টেশনে। প্রথম পর্যায়ে মাত্র বারো মাসের জন্য। পরে তা বেড়ে এর সময়কাল সর্বোচ্চ পাঁচ বছরের জন্য দীর্ঘায়িত করা হয়। হার্ডওয়্যারে সমস্যা দেখা গেলে ২০২০ সালের জানুয়ারিতে ইন্টারন্যাশনাল স্পেস স্টেশনের দুই মহাকাশ বিজ্ঞানী ক্রিস্টিনা কচ এবং জেসিকা মেইর কোল্ড ল্যাবের হার্ডওয়্যার আপগ্রেড করেন। এতে ১ পিকো-কেলভিন তাপমাত্রা ১০ সেকেন্ড সময় পর্যন্ত স্থায়ী করা যায়। এই ল্যাব তৈরির মূল উদ্দেশ্য ছিল হাতেনাতে পদার্থের পঞ্চম অবস্থা পর্যবেক্ষণ করা। বেশি সময় ধরে। তার সঙ্গে আরও কিছু ম্যাক্রোস্কোপিক ভৌত ঘটনা পর্যবেক্ষণ। তারপর এল সেই সন্ধিক্ষণ। ২০২০ সালের জুন মাস। মহাকাশ স্টেশনে ১ সেকেন্ডের জন্য পদার্থের পঞ্চম অবস্থা পর্যবেক্ষণ করেন কোল্ড ল্যাবের বিজ্ঞানীরা। তারা লক্ষ্য করলেন পরম শূন্য তাপমাত্রা (শূন্য কেলভিন) - র কাছাকাছি পৌঁছলে বোসন গ্যাসের হাজার হাজার পরমাণুর নড়ন চড়ন বন্ধ হয়ে যায়। তাদের সমস্ত শক্তি প্রায় নিঃশেষিত হয়। পরমাণুগুলির আপন আপন স্বাধীন সত্তা লোপ পায়। তার বদলে একগুচ্ছ পরমাণু মিলে একটি 'সুপার অ্যাটম' তৈরি করে, যা কি-না বসু-আইনস্টাইন ঘনীভবন (Bose-Einstein condensation) অবস্থাকে চিহ্নিত করে। পদার্থের এরকম অবস্থা 'অতিতরল অবস্থা' নামেও সুপরিচিত। এ অবস্থায় পদার্থটি পাত্রের ভেতরের গা বেয়ে নীচ থেকে উপর দিকে উঠতে শুরু করে। সম্পূর্ণ বিনা বাধায়।