ভাবনা (Bhāvanā)

একটি গণিত পত্রিকা

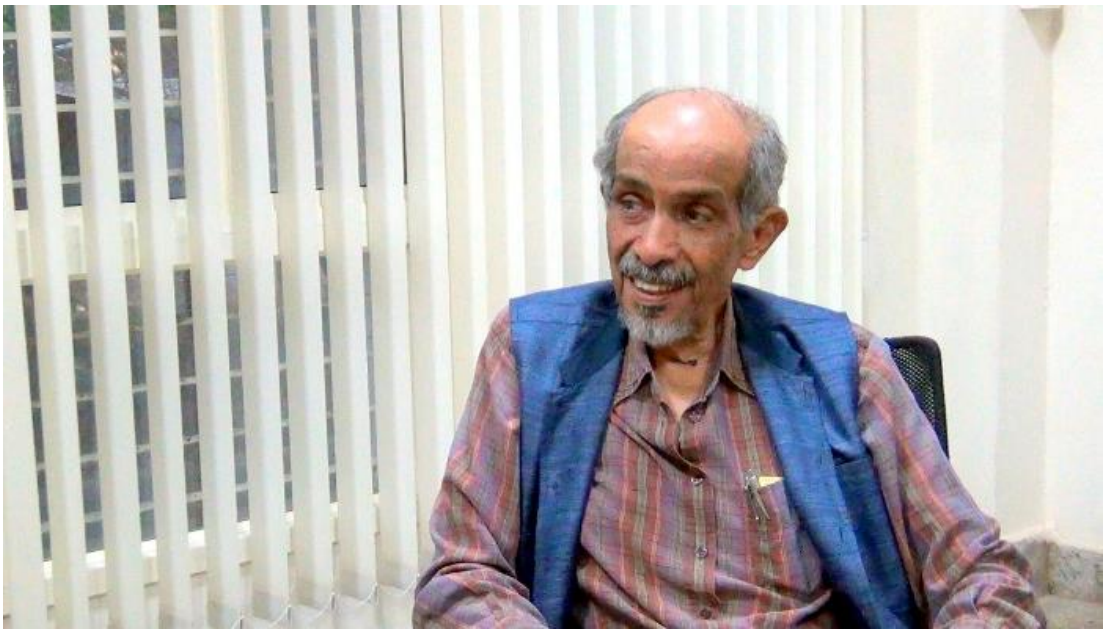
ভাবনা ট্রাস্টের (Bhavana Trust) একটি প্রকাশনা

দ্বিতীয় খণ্ড দ্বিতীয় সংখ্যা এপ্রিল ২০১৮ (April 2018)

অ্যাবাভ দা ক্লাউডস

(মেঘের ওপারে)

কথোপকথনে **রোদ্দম নরসিমহা** (Roddam Narasimha)



রোদ্দম নরসিমহা, আরএন হিসাবে যিনি সমধিক পরিচিত, একজন বহুমুখী বিজ্ঞানী, যার শিক্ষাগত বৃত্তি পুরোপুরি ভারতে, বিশেষত বেঙ্গালুরুতে। তিনি একজন বিরল ব্যক্তিত্ব যিনি সম্পূর্ণ স্বাচ্ছন্দ্যের সাথে প্রাচ্য ও পাশ্চাত্য, উভয় পদ্ধতির বিজ্ঞানের সংমিশ্রন প্রতিনিধিত্ব করেন। তিনি ভারতকে সক্ষম বৈজ্ঞানিক শক্তি হিসাবে গড়ে তোলার ক্ষেত্রে বেশ কয়েকটি দেশীয় প্রকল্পের নেতৃত্ব দিয়েছেন। তাঁর পরিষেবাগুলির স্বীকৃতি হিসাবে, ২০১৩ সালে তিনি ভারতের দ্বিতীয় সর্বোচ্চ অসামরিক সম্মান পদ্ম বিভূষণ (Padma Vibhushan) পুরষ্কার পেয়েছিলেন।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

বর্তমানে তিনি বেঙ্গালুরুর জওহরলাল নেহরু সেন্টার ফর অ্যাডভান্সড সায়েন্টিফিক রিসার্চের ডিএসটি ইয়ার-অফ-সায়েন্স-এর অধ্যাপক।

এই সাক্ষাৎকারের প্রথম অংশটি ভাবনায় ২০১৭ সালের এপ্রিল মাসের সংখ্যায় প্রকাশিত হয়েছিল। সাক্ষাৎকারের এই দ্বিতীয় এবং চূড়ান্ত অংশের জন্য আরএন ২০১৭ সালের জুলাই মাসে ভাবনার অবদানকারী সম্পাদকদের সাথে কথা বলেছিলেন।

ক্যালটেকে (Caltech) আগমন এবং স্পুটনিকের (Sputnik) প্রবর্তন

ভাবনার পক্ষ থেকে, আজ আমাদের সাথে যোগ দিতে সময় দেওয়ার জন্য আপনাকে ধন্যবাদ।

আরএন: আমি আনন্দিত।

আমাদের এপ্রিল ২০১৭ সালের সংখ্যায় আপনার সাক্ষাৎকারের আগের অংশে, আমরা বেঙ্গালুরুতে আপনার বেড়ে ওঠা এবং প্রাচীন ভারতীয় বিজ্ঞানের উপর আপনার কিছু চিন্তাভাবনার বিষয় আলোকপাত করেছি। আজ আমরা ক্যালিফোর্নিয়ার ইনস্টিটিউট অফ টেকনোলজিতে [ক্যালটেক] আপনার সময়কাল এবং আইআইএসসিতে ফিরে আসার পরে গবেষণায় আপনার আগ্রহের বিষয়ে কথা বলতে চাই।

তাহলে, আপনি ১৯৫৭ সালে আপনার পিএইচডি শুরু করেছিলেন?

আরএন: একদম ঠিক।

১৯৫৭ সাল, এ বছরই স্পুটনিক চালু হয়েছিল। সে সময় ক্যালটেকের পরিবেশ কেমন ছিল? একে মহাকাশ দৌড়-এর শুরু হিসেবে ধরা হয়। আপনার পিএইচডি চলাকালীন ক্যালিফোর্নিয়ার (California) আশেপাশে যে ধরনের গবেষণা চলছিল তার ওপর এটি কি প্রভাব ফেলেছিল?

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

আরএন: হ্যাঁ, আমি মনে করি এটি মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের (United States) ওপর গভীর প্রভাব ফেলেছিল। প্রকৃতপক্ষে, স্পুটনিকের প্রবর্তন আমার পিএইচডি করার জন্য নিবন্ধনের এক সপ্তাহের মধ্যেই ঘটেছিল। [হেসে] আমি সেখানে গিয়েছিলাম এই ভেবে আমি অশান্ত প্রবাহ (turbulent flow) নিয়ে কাজ করব। এবং প্রকৃতপক্ষে, আমার প্রথম সমস্যাটি ছিল এয়ারোডাইনামিক নয়েজ (aerodynamic noise) সম্পর্কিত বিষয় নিয়ে। সেই সময়ের একটি সমস্যা হ'ল জেট ইঞ্জিনগুলি (jet engines) খুব বেশি শব্দ করতো এবং বৈজ্ঞানিক সমস্যার পাশাপাশি প্রযুক্তির দিক থেকেও এটি ছিল একটি অত্যন্ত সক্রিয় সমস্যা।

তবে, মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের আগেই রুশরা (Russians) যে একটি উপগ্রহের উৎক্ষেপণ করে ফেলেছিল, তা আমেরিকানদের (Americans) ওপর গভীর প্রভাব ফেলেছিল। আমার এখনও মনে আছে যে রুশরা যখন সফল স্পুটনিক উৎক্ষেপণ করার ঘোষণা করেছিলেন তখন খুব কম লোকই এটি বিশ্বাস করেছিলেন। রুশরা বলেছিলেন যে আপনি একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে একটি হালকা শব্দ (beep) শুনতে পাবেন, যা তারা দাবী করেছিলেন স্পষ্টভাবে প্রমাণ করে উপগ্রহটির উপস্থিতি। তবে অনেক আমেরিকান বলেছিলেন যে আপনি যে কোনও জায়গা থেকে এই হালকা শব্দ শুনতে পারেন এবং কেউ জানে না এটি কোনো উপগ্রহ থেকে আসছে কিনা। সুতরাং অবশেষে রুশরা ঘোষণা করলেন ঠিক কখন স্পুটনিক বিভিন্ন শহরের দিগন্তের ওপরে উপস্থিত হবে। যেমন, বলা হয়েছিল এটি কোনও নির্দিষ্ট দিনে সন্ধ্যা ৬:৩৫ মিনিটের আশেপাশের কোনো এক সময় লস অ্যাঞ্জেলেসের (Los Angeles) পশ্চিম দিগন্তে উপস্থিত হবে।

আমার সেই দিনটি খুব ভালভাবে মনে আছে যখন ক্যালটেকের যাকে বলে প্রেসিডেন্ট থেকে শুরু করে দারোয়ান, সবাই ভাবছিলেন তারা সেই উজ্জ্বল ছোট জিনিসটা আকাশে চলাফেরা করছে তা দেখতে পাবেন কিনা? সমস্ত চত্বর জুড়ে ছিল ভিড় এবং লোকেরা সেখানে সর্বত্র ছড়িয়ে ছিলেন। তারপরে, ঠিক ঘোষিত সময়ে এটি দিগন্তের উপরে এসে উপস্থিত হয়েছিলো।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

আরএন তাঁর ক্যালটেকের সময়কালে; রোদ্দম নরসিমহা

এটির গতি উপলব্ধি করার জন্য এর বেগ যথেষ্ট ছিল, যেহেতু খুব দূরে ছিল তাই এটির বেগ বেশি ছিল না। সুতরাং, স্পুটনিককে চোখে দেখা গেলো এবং তারপরে মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের সমস্ত কিছুই রাতারাতি বদলে গেল। আমেরিকানরা নিশ্চিত হয়েছিলেন যে রুশরা এটি সত্যিই করেছেন। একই অভিজ্ঞতার অন্য জায়গায়ও হয়েছিল। এটি একটি সন্ধিক্ষণ ছিল কারণ এটিকে আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রর জাতীয় চ্যালেঞ্জ হিসাবে দেখা হয়েছিল। অতএব, তারা খুব শীঘ্রই একটি মহাকাশ কার্যক্রম শুরু করার জন্য নিজেদেরকে সংগঠিত করছিল। আরো একটা জিনিস যা আমাকে মুগ্ধ করেছিল সেটি হলো পরিবর্তনগুলি কত দ্রুত আনা হয়েছিল এবং এমনকি অ্যারোনটিক্স গবেষণা কর্মসূচির জন্য বাজেট কমানো হয়েছিল। সুতরাং অ্যারোনটিক্স প্রোগ্রাম যে বিপুল বাজেট পেত তা হ্রাস করা হয় এবং এর প্রচুর পরিমাণ মহাকাশে যাওয়ার প্রস্তুতির জন্য ব্যয় করা হয়। বিভিন্ন বিভাগের গবেষণা কর্মসূচি বদলে যায় এবং অনেক অ্যারোনটিক্স বিভাগগুলি নভশ্চরনবিদ্যা (astronautics) ও বিমানচালনাবিদ্যা (aeronautics) বিভাগে পরিণত হয় এবং তারা নতুন সমস্যার দিকে নজর দিতে শুরু করে।

সুতরাং, স্পুটনিককে চোখে দেখা গেলো এবং তারপরে মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের সমস্ত কিছুই রাতারাতি বদলে গেল।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

তখন, আমি জেটের শব্দের সমস্যা নিয়ে কাজ করেছি এবং আমি এমআইটি-র (MIT) একজন পরিদর্শক, প্রফেসর এরিক এল মোল্লো-ক্রিস্টেনসেনের (Erik L. Mollo-Christensen) পাশাপাশি আমার উপদেষ্টা হ্যানস লিপম্যানের (Hans Liepmann) সাথেও কাজ করেছি। আমরা সেই কাজটি শেষ করেছিলাম এবং প্রকাশনার জন্য জমা দিয়েছিলাম - এটি জার্নাল অফ ফ্লুইড মেকানিক্স-এ প্রকাশিত হয়েছিল (Journal of Fluid Mechanics)।[1] আমার উপদেষ্টার বিষয় বলা যেতে পারে, তিনি এটিকে আমার গবেষণামূলক প্রবন্ধ (Thesis) হিসাবে গ্রহণ করতে রাজি ছিলেন। আমি সম্ভবত এর ওপর বছর দেড়েক সময় কাটিয়েছিলাম। যাইহোক, সেই অল্প সময়ের মধ্যে, ক্যালটেকে যা শিখতে এসেছিলাম তা আমি সত্যিই শিখতে পারিনি। আমি অন্য কিছু করতে চেয়েছিলাম যা ভারতে খুব সহজে করা যায় না।

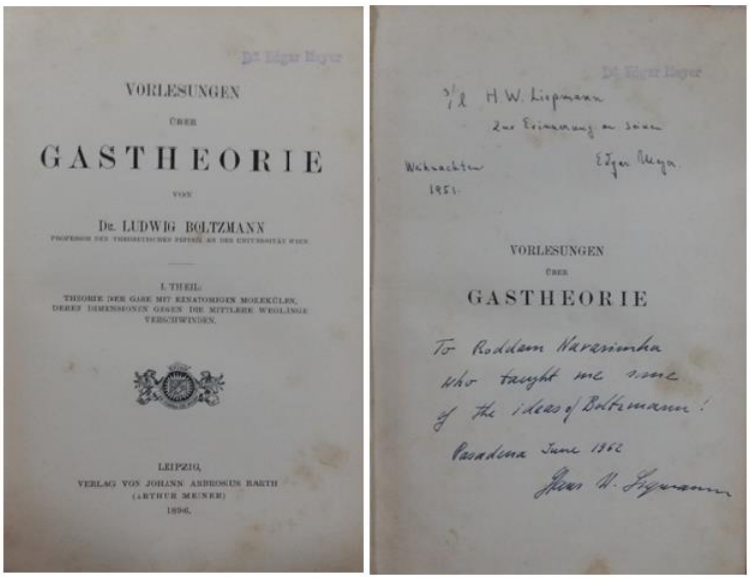
কাজ করার জন্য জেট-শব্দের সমস্যা একটি আকর্ষণীয় সমস্যা ছিল ঠিকই, কিন্তু এই সমস্যা যথেষ্টভাবে চ্যালেঞ্জিং ছিল না। তাই আমি অবাক হয়ে গেলাম যখন লিপম্যান বললেন, “আপনি যদি আপনার ডিগ্রি পেতে চান তবে আপনি এই থিসিসটি লিখতে পারেন। এবং তারপরে এখানে পোস্টডক হিসেবে থাকতে পারেন।" উত্তরে আমি বলেছিলাম, "কিন্তু, আমার মনে হয় আমার আরও কিছু করা দরকার এবং আমাকে আরও কিছু শিখতে হবে।" এবং সেই সময়, তিনি কম ঘনত্বের গ্যাসের গতিশীলতার উপর কাজ শুরু করেছিলেন। মহাকাশবিজ্ঞানের এটি অন্যতম প্রভাব ছিল।

উপগ্রহগুলি সাধারণত আকাশে কয়েকশ’ কিলোমিটার ওপরে থাকে এবং সাধারণ নাভিয়ার – স্টোকস (Navier–Stokes equations) সমীকরণগুলি সেখানে কাজ করে না। আপনাকে এই ক্ষেত্রে বোল্টজম্যানের সমীকরণটি (The Boltzmann equation) সমাধান করতে হবে, তাই প্রত্যেকে হঠাৎই এই সমীকরণে আগ্রহী হয়ে উঠলেন। কিছু লোকেরা আগেই ছিলেন যারা এটির উপর কাজ করছিলেন এবং তাই এটি সম্পূর্ণ নতুন ছিল না, তবে এর উপর জোর খুব দ্রুত বাড়ছিল।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

আমার উপদেষ্টা, হান্স লিপম্যান আসলে একজন প্রশিক্ষিত পদার্থবিদ ছিলেন এবং তাঁর কাছে বোল্টজম্যান সমীকরণটি নতুন কিছু ছিল না। বরং তিনি এটিকে এমন কিছু করার সুযোগ হিসাবে দেখেন যা সত্যিই তার প্রশিক্ষণ থেকে প্রাপ্ত - এবং এটাও ঠিক যে, জার্মানিতে তাঁর গুরুদের মধ্যে একজন, এডগার মেয়ার (Edgar Meyer) ছিলেন লুডউইগ বোল্টজম্যানের (Ludwig Boltzmann) ছাত্র।

তাই লিপম্যান রেয়ারিফায়েড গ্যাস ডাইনামিক্স (rarefied gas dynamics) নিয়ে একটি গবেষণা প্রোগ্রাম চালুর সিদ্ধান্ত নিলেন এবং আমি বললাম যে আমি এই বিষয়ে কাজ করতে চাই। তিনি আসলে একটি রন্ধ্রের মধ্য দিয়ে প্রবাহের একটি ধারাবাহিক পরিমাপের ওপর কাজ করছিলেন যেটির পরিসীমা ব্যাপ্ত ছিল নাভিয়ার-স্টোকস এবং অয়লারের সমীকরণগুলি বৈধতার শুরুর থেকে, যেখানে এগুলি অবৈধ সেই পর্যন্ত। তিনি একটি ছোট যন্ত্রের মধ্যে পুরো পরিসীমাটি ধরতে সক্ষম হয়েছিলেন — এটি একজন পদার্থবিজ্ঞানীর পরীক্ষা ছিল। [হেসে]



বোল্টজম্যানের বই, ফরলেজুঙ্গেন উবর গ্যাসথিয়েরী(Vorlesungen Über Gastheorie)-র অনুলিপি, যা এডগার মেয়ারের কাছ থেকে হ্যানস লিপম্যানের মাধ্যমে আরএন পেয়েছিলেন। রোদ্দম নরসিমহা

সুতরাং তিনি এই পরিমাপগুলি করলেন এবং সেই সমস্ত ফলাফল পেলেন, যা ধারাবাহিক সন্ততার ঘরানায় অয়লারের তত্ত্বের (Euler's theory) সাথে মিলে গিয়েছিল। উল্টোদিকে অন্য চূড়ান্ত সীমানাতে, এটি ডেনিশ বিজ্ঞানী মার্টিন নুডসেন

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

(Martin Knudsen) যা অনুমান করেছিলেন তার সাথে মিলে যাচ্ছিল। তবে এর মাঝের অংশে এটি নতুন ছিল এবং কোনও পরিচিত তত্ত্ব দ্বারা তখনও এর ব্যাখ্যা করা যায়নি। সুতরাং আমি মুক্ত-অণু প্রান্তের ধারাবাহিকতার দিকে কিছু করতে পারি কিনা, অন্তত প্রায় মুক্ত-অণু ক্ষেত্রে, তা দেখার চেষ্টা করার প্রস্তাব দিলাম।

তখন গণনা-বিজ্ঞানের (computing) শুরুর দিকের সময়কাল ছিল। ক্যালটেকে একটি যন্ত্রগণক মানে কম্পিউটার ছিল, তবে এটি খুব বেশি ব্যবহৃত হতো না। প্রকৃতপক্ষে, ক্যালটেকের বরিষ্ঠ অধ্যাপকদের মধ্যে কয়েকজন এই যন্ত্রগণক ব্যবহারের ক্ষেত্রে বিশেষ অনুমোদন দিতেন না, কারণ তারা মনে করেছিলেন যে তাতে আমাদের বিশ্লেষণাত্মক দক্ষতা হ্রাস পাবে। [হেসে]

রেয়ারফাইড গ্যাস ডায়নামিক্স এবং বোল্টজম্যানের সমীকরণ

পাকো লাজারস্ট্রম (Paco Lagerstrom) কি সেই সময় ক্যালটেকে ছিলেন?

আরএন: হ্যাঁ, লাজারস্ট্রমের বিশ্লেষণাত্মক চিন্তাভাবনা সত্যিই খুব জোরদার ছিল। তিনি এমন একজন ব্যক্তি ছিলেন যিনি অনুভব করেছিলেন যে কম্পিউটিংয়ের আবির্ভাবের সাথে বিশ্লেষণের শক্তি হ্রাস পেতে পারে এবং লোকে কীভাবে দরকারী বিশ্লেষণাত্মক ফলাফল পেতে পারেন তা তারা ধীরে ধীরে ভুলে যাবেন। তিনি আসলে ভুল ছিলেন না। এটি বাস্তবে সত্যিই ঘটেছিল। আমি বলতে চাইছি, ১৯৫০ বা '৬০-এর দশকে যে ধরনের বিশ্লেষণ করা হত, তা এখন খুব কম লোকই করেন। বিশ্লেষণী পদ্ধতি হয়ত এখন অনেক অগ্রসর হয়েছে, তবে এটাও ঠিক যে এখন অনেকেই, যদি গণনা করতে পারেন, তবে বিশ্লেষণ সম্ভবত এড়িয়ে চলেন। প্রকৌশলীরাতো অবশ্যই তাই - আপনি যদি গণনার মাধ্যমে ফলাফল সহজেই পেতে পারেন তবে আর আনুমানিক পদ্ধতির ব্যবহারের কী কাজ? অ্যারোনটিক্স-এর শিক্ষার্থী হিসাবে আমি যে আনুমানিক পদ্ধতিগুলি শিখেছিলাম সেগুলি আজকাল খুব কম ব্যবহৃত হয়। [হেসে] সেই সব উত্তরগুলির মধ্যে অনেকগুলিই এখন একটি বোতাম টিপে পাওয়া যায়।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

১৯৫০ বা '৬০ এর দশকে যে ধরনের বিশ্লেষণ করা হত, তা এখন খুব কম লোকই করেন।

ক্যালটেকের সেই বছরগুলি কম্পিউটিং যুগের সূচনা হিসেবে ধরা হয়। তবে আমি প্রায়-মুক্ত অণু প্রবাহ সম্পর্কে একটি ঐতিহ্যানুসারী আনুমানিক গণনা করেছি এবং এটি দেখে মনে হয়েছিল আমি সঠিক অনুমানগুলি তৈরি করেছি। যাইহোক, গণনাটিতে বিজিকে (BGK) অর্থাৎ, ভাটনগর (Bhatnagar), গ্রস (Gross) এবং ক্রুক (Krook) মডেলটি ব্যবহার করা হয়েছিল - সেই একই ভাটনগর যিনি আইআইএসসি-তে অ্যাপ্লায়েড ম্যাথমেটিক্স (Applied Mathematics) বিভাগ স্থাপন করেছিলেন আমি ভারতে ফিরে আসার সময়। আমি আগে গিয়ে লিপম্যানকে বলেছিলাম যে আমি আমার গবেষণামূলক প্রবন্ধের জন্য এটি করতে চাই। তিনি বলেছিলেন, "ঠিক আছে, এগিয়ে যান!" এবং তাই আমি করেছি। এটি একটি আকর্ষণীয় অনুশীলনও ছিল এবং আমি এটি প্রকাশও করেছিলাম[2], তবে এখন পিছনে ফিরে তাকালে পরে আমার মনে হয় আমি এই রচনার তাৎপর্যকে অবমূল্যায়ন করেছিলাম এবং আমি যে সমস্ত অনুমান করেছিলাম সেগুলি আমি খুব বেশি বিস্তারিতভাবে খুঁটিয়ে দেখিনি। আমি গণনা করেছিলাম এবং ফলাফলগুলি পরিমাপের সাথে মিলেছে দেখে তখন এটিকেই যথেষ্ট বলে মনে হয়েছিল। তাই আমি এর ওপর একটি টিকা (note) প্রকাশ করেছিলাম।

পরে আমি জানতে পেরেছিলাম ওই বছরই একটি আন্তর্জাতিক রেয়ারিফায়েড গ্যাস ডাইনামিক্স বৈঠক হয়েছিল, কিন্তু আমি সেখানে কোনও পেপার জমা দিইনি। সেটি কেমন চলছে তা দেখতে আমি সেখানে গিয়েছিলাম। আমি এমনকি নিবন্ধভুক্তও ছিলাম না এবং আমি যখন সেই লেকচার হলে যাই, চমকে উঠে শুনি, সেখানে একজন সিনিয়ার বক্তা তখন শ্রোতাদের কাছে বলছেন যে, নরসিমহা ভুল করেছেন। [হাসি]

এটা কি ক্যালটেকে ঘটেছিল?

আরএন: ক্যালটেকে নয়। এটি বার্কলেতে (Berkeley) ঘটেছিল। আমি শুধুমাত্র নিজের খুশীতে অংশ নিতে বার্কলে গিয়েছিলাম। ততদিনে আমার একটি গাড়ি হয়েছিল।

যাই হোক, আমি বেশ বিধ্বস্ত হয়ে পড়েছিলাম। তাই আমি তৎক্ষণাৎ ফিরে এলাম [হেসে] এবং লিপম্যানকে বললাম যে এই ব্যক্তি আমার গণনাটিকে ভুল বলেছেন। শুনে তিনি বললেন, "আচ্ছা, আপনি কি মনে করেন তিনি ঠিক?" আমি বললাম, "না, তিনি ঠিক নন। আমি যে আসন্নতা বা অনুমান বিবেচনা করেছি তা তিনি বুঝতে পারেন নি।" আমার উপদেষ্টা বললেন, "ভাল, আপনি একটি গাণিতিক কাজ করেছেন। এখন, বিভাগের গণিতবিদদের সাথে এটি নিয়ে আলোচনা করুন।" বিভাগে তখন দু'জন গণিতবিদ ছিলেন — পাকো লাজারস্ট্রম এবং জুলিয়ান কোল (Julian Cole)। আমি তাদের দুজনের সাথেই কথা বললাম এবং বিস্তারিত আলোচনার পরে দুজনেই শংসাপত্র দিলেন যে আমি যা করেছি তা বিচারবুদ্ধিসম্পন্ন। সুতরাং আমার তখন দু'জন স্বপক্ষের লোক হল, যারা ছিলেন বেশ ভাল এবং খ্যাতিমান গণিতবিদ।

আরএন তার গাড়ির সাথে; সৌজন্যে রোদ্দম নরসিমহা

বার্কলের সেই স্পিকার কয়েক সপ্তাহ পরে ক্যালটেকে এসেছিলেন এবং এ সম্পর্কে আমাদের বিস্তারিতভাবে দীর্ঘ আলোচনা হয়। আমার পক্ষে এমন দু'জন আছেন যারা গণিত বিষয়ে খুব ভালোভাবে অবগত তা জানার পর এবং তার কাছে আমার আগের ব্যাখ্যার সাথে গণিতকে জুড়ে এবার নতুন করে ব্যাখ্যা দেওয়ার ফলে, তিনি বিষয়টিকে নিয়ে দ্বিতীয়বার চিন্তাভাবনা করতে বাধ্য হন এবং তিনি তার পেপারটি শেষ পর্যন্ত প্রত্যাহার করেন। আসল বিষয়টি হ'ল, আমার টিকাটি প্রকাশের পরে,

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

তিনি কিছু হিসাব কষেছিলেন এবং তিনি একটি আলাদা উত্তর খুঁজে পেয়েছিলেন। যাইহোক, আমি এখান থেকে একটি শিক্ষা পেয়েছিলাম এবং পরে আরও একটি দীর্ঘ নথি লেখা হয়েছিল।[3] বোল্টজম্যান সমীকরণের সম্মুখীন হওয়ার ব্যাপারে আমার আত্মবিশ্বাস বেড়ে গিয়েছিল কারণ আমি লক্ষ করেছিলাম যে এর আগে এই গণনা কেউ করেননি।

এটির জন্যেই কি সংস্থাগুলি পরামর্শ নেওয়ার ক্ষেত্রে আপনাকে হিসেবের মধ্যে রেখেছিল?

আরএন: হ্যাঁ, সম্ভবত, তবে স্পুটনিকের প্রভাবও ছিল, যার ফলে দ্রুত বিশাল সংখ্যক বেসরকারী সংস্থা প্রতিষ্ঠিত হচ্ছিল। তারা পদার্থবিদ্যার সমস্যাগুলির বিষয়ে নাসার (NASA) কাছ থেকে চুক্তি পেতে শুরু করলো, যা এর আগে কখনও হয়েনি।

তাহলে তারা কি সেই যুগের স্টার্ট আপের সূচনা ছিল?

আরএন: একদম, এগুলি ছিল সেই যুগের স্টার্ট আপের সূচনা এবং এগুলি সাধারণত পদার্থবিদরা চালাতেন।

এর মধ্যে কি এখনও কিছু রয়েছে?

আরএন: বেশিরভাগই আর নেই, তবে নাসার প্রোগ্রামটি বড় মাপে প্রসারিত হয়েছিল এবং সেই সংস্থাগুলির কয়েকটি আসলে বেশ বড় হয়ে ওঠে, তবে যে সংস্থাটি আমাকে তাদের পরামর্শ দেওয়ার জন্য বলেছিল, সেটি একজন পদার্থবিদ স্থাপন করেছিলেন।

আমি রেয়ারিফায়েড গ্যাস ডায়নামিক্সের ওপর অনেক কাজ করেছি এবং উপভোগও করেছি।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

যাইহোক, আমার দ্বারা উল্লেখিত সেই পেপারগুলির একটিতে বোল্টজম্যান সমীকরণের সাথে অন্য বিষয়ের সম্পর্ক ছিল, যেটি ছিল গণিতের খাঁটি অংশ। এটিতে দেখানো হয়েছিল কোনও মুক্ত অণুপ্রবাহের সাথে কিছু নির্দিষ্ট অবস্থার মধ্যে নাভিয়ার – স্টোকসের ধরনের সম্পর্ক থাকবে। এটি আসলে খুব মজাদার ছিল কারণ আমি যতটুকু শিখেছি, তার থেকে বলতে পারি একটি মুক্ত-অণু প্রবাহের গতিবিধি ধারাবাহিক প্রবাহের থেকে সম্পূর্ণ আলাদা এবং এখানে আমাদের অণুগুলিকেও আমল দিতে হবে। তবে যদি আপনি মেঘকে শূন্যস্থানের মধ্যে প্রসারিত করেন তবে এমনটি ঘটে যে, পরিস্থিতির সংমিশ্রণে, উদ্ভূত প্রবাহটি এমন আচরণ করে যে এটি যেন একটি সান্দ্রতা (viscosity) এবং পরিবাহিতা (conductivity) সহ ধারাবাহিক মাধ্যম, যদিও উভয়ই সময়ের ওপর নির্ভরশীল। সুতরাং, এটি গ্যাসের বৈশিষ্ট্য নয়, কিন্তু সম্প্রসারণ শুরু হওয়ার পর থেকে যে সময়টি অতিবাহিত হয় এটি তার ওপর নির্ভরশীল।

আমার উপদেষ্টা-বৃত্তিতে ফিরে আসা যাক, প্রায় এই সময়, নতুন সংস্থার সভাপতি আমার সাথে যোগাযোগ করলেন। আমি কী করছিলাম তাও আমি তাঁর কাছে উল্লেখ করলাম এবং তিনি খুব আগ্রহী হলেন। আমি তাকে একটি প্রাথমিক নথি প্রেরণ করেছিলাম যা আমি ছাত্র হাওয়া সত্ত্বেও আমাকে কাজে নেওয়ার পক্ষে তার জন্যে যথেষ্ট ছিল, কারণ সেই সময় বোল্টজম্যান সমীকরণে খুব বেশি লোক কাজ করতেন না। দীর্ঘ একটি পেপার বহুদিন আগে প্রকাশিত হয়েছিল।[4]

অবশেষে আমি এই সমস্ত জিনিস একসাথে করলাম এবং আমার গবেষণামূলক প্রবন্ধ জমা দিলাম এবং ডিগ্রি পেলাম।[5] আমি যেমন এই সংস্থার পরামর্শদাতা ছিলাম, তেমনি নাসা(Nasa)-র জেপিএল (JPL), মানে জেট প্রপালসান ল্যাবরেটরি থেকে একজন বিজ্ঞানীও আমার কাছে এসেছিলেন। আমার গবেষণামূলক প্রবন্ধে আমি বলেছিলাম - যেহেতু আমি যথেষ্ট আত্মবিশ্বাসী ছিলাম - আমরা একটি শকওয়েভের (shockwave) কাঠামো বোঝার জন্য বিজিকে মডেলের সমাধান করতে পারি, তবে এটি কম্পিউটারের মাধ্যমে করতে হবে।

এটি সেই সময়কার অন্যতম বড় সমস্যা ছিল, কারণ একটি শকওয়েভকে সাধারণত অসন্তত হিসাবে বিবেচনা করা হত। প্রকৃতপক্ষে তা নয়, কারণ এটির অ-শূন্য ঘনত্ব রয়েছে এবং তাই এটি বাস্তবে অসন্তত হতে পারে না, তবে এটি খুব সরু, বিশেষত গড় মুক্ত পথের (mean free path) ক্রম হিসাবে বিবেচ্য। এর অর্থ আপনাকে বোল্টজম্যান সমীকরণ নিয়ে কাজ করতে হবে, আপনি নাভিয়ার - স্টোকস সমীকরণ ব্যবহার করতে পারবেন না। নাভিয়ার – স্টোকস সমাধানগুলি তুলনায় সহজলভ্য, তবে শক্তিশালী শক বা অভিঘাতের কারণে সেটি সঠিক হতে পারে না।

শকওয়েভগুলির কাঠামো

কী ধরনের পরিস্থিতি এমন শকওয়েভকে উত্থিত করবে? আপনি কি সুপারসনিক ফ্লাইট (supersonic flight) সম্পর্কে বলছেন, না কি অন্য কোনো উদাহরণ রয়েছে?

আরএন: হ্যাঁ, সুপারসনিক ফ্লাইট নিয়ে অনেক কথা হয়েছিল, তবে লঞ্চ (launch vehicles) গাড়ি এবং উপগ্রহগুলিতেও ধাক্কার প্রয়োজন। আপনার বিমান যদি সুপারসনিক মাখ সংখ্যায় (supersonic Mach numbers) ওড়ে তবে তার পাখার অগ্রণী প্রান্তে এবং নাকের চারপাশের অনুষঙ্গী হলো শকওয়েভ। অন্য কোথাও আরও বেশি ধাক্কা লাগতে পারে।

চার্লস ইয়েগার (Charles Yeager) ১৯৪৭ সালে সুপারসনিক ফ্লাইট সম্পাদন করেন, তাই না?'

আরএন: একদম ঠিক। এটা জানা ছিল যে সুপারসনিক ফ্লাইট সম্ভব এবং বিমানটি ক্র্যাশ করবে না বা সেইরকম কিছু হবে না। তিনিই প্রথম ব্যক্তি যিনি শব্দের বাধা ভঙ্গ করেছিলেন। কিন্তু তবুও, সুপারসনিক প্রবাহকে সত্যিকারের অর্থে উপলব্ধি করা লোকের সংখ্যা তখন খুব বেশি ছিল না। আমি মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রে যখন যাই,

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

এটি একটি স্ট্যান্ডার্ড ডিগ্রি কোর্স ছিল। তবে এটি তখনও একটি নতুন বিষয় ছিল; বোল্টজম্যান সমীকরণটি আরও নতুন ছিল।

শকওয়েভের অভ্যন্তরে কী ঘটে এবং আপনি কীভাবে বোল্টজম্যান সমীকরণটি ব্যবহার করবেন তা নিয়ে তর্কবিতর্ক চলেছিল। ঠিক সেই সময় কম্পিউটারের যাত্রা শুরু হয় এবং আমি ভেবেছিলাম যে বোল্টজম্যান সমীকরণের একটি সংখ্যাভিত্তিক সিমুলেশন তৈরির চেষ্টা করা একটি ভাল সমস্যা হতে পারে এবং শক স্ট্রাকচার (shock structure) সম্পর্কে এটি কী বলে তাও দেখা যেতে পারে। আমার গবেষণামূলক প্রকাশনা কোনওভাবে জেপিএল- এর কাছে পৌঁছয়। ওদের কেউ এটিকে দেখেছিলেন এবং সেই ব্যক্তি এসে আমায় বলেন, "আপনার এই পরামর্শ দেখেছি। আমি সবেমাত্র প্রথম বড় আইবিএম (IBM) কম্পিউটার পেয়েছি।" এটি ঠিক কোন কম্পিউটার ছিল তা আমি এখন ভুলে গিয়েছি, মনে হয় সেটি ছিল আইবিএম ৩৫০ (IBM 350) বা ওইরকম কিছু— যা সেই সময় পর্যন্ত বৃহত্তম কম্পিউটার এবং আপনি যদি স্পেস প্রোগ্রামের ফলাফল জানতে চান তবে এটাই তখন দ্রুততম কম্পিউটার এবং এটা পাওয়ার ক্ষেত্রে জেপিএল ছিল অন্যতম প্রথম। সুতরাং তিনি এসে আমায় বললেন, "আমাদের নতুন কম্পিউটারে শক স্ট্রাকচারের সমস্যাগুলি করলে কেমন হয়?"

লিপম্যান এটির অনুমোদন দিয়েছিলেন। আসলে লিপম্যানই ছিলেন সেই লোক যিনি তাকে আমার কাছে পাঠিয়েছিলেন। কাজটি ঐ কম্পিউটারে করা হয়েছিল এবং আমরা সমাধানও পেয়েছিলাম। এই সমাধানগুলি আবারও ছিল বিজিকে সমীকরণের। আবারও, এটি আপনাকে কী ঘটেছিল তার ধারণা দেয়, তবে তখনকার কম্পিউটারগুলি সত্যিকারের বোল্টজম্যান সমীকরণের সরাসরি সমাধানের জন্য পর্যাপ্ত শক্তিশালী ছিল না।

আপনার প্রশ্নে ফিরে আসি, হ্যাঁ, স্পুটনিকের প্রবর্তন আমার প্রোগ্রামকে পরিবর্তন করেছে। আমি রেয়ারিফায়েড গ্যাস ডায়নামিক্সের ওপর অনেক কাজ করেছি এবং এটি উপভোগও করেছি।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

রেয়ারিফায়েড গ্যাস ডায়নামিক্সের ওপর এই ধরনের কাজ যে শুরু হয়, আপনি যখন আইআইএসসি তে ফ্যাকাল্টি হিসাবে যোগদান করেছিলেন তখন আপনি কি এগুলি অনুসরণ করতে পেরেছিলেন? কারণ আপনি উল্লেখ করেছেন সেই সময়ে এই সংখ্যাভিত্তিক সিমুলেশনগুলি করতে, একদম সাম্প্রতিক ও আধুনিক কম্পিউটারের প্রয়োজন ছিল।

আরএন: একদম ঠিক।

এবং মনে হয় সেই সময় আইআইএসসিতে এরকম কিছু নিয়ে আসা কঠিন ছিল।

আরএন: হ্যাঁ, আইআইএসসিতে তখন কম্পিউটার ছিল না।

ধাওয়ানের(Dhawan) সাথে আরএন; সৌজন্যে রোদ্দম নরসিমহা

ক্যালটেক থেকে আইআইএসসিতে অভিযাত্রা

তাহলে আপনি কি এই ইচ্ছেগুলোকে এগিয়ে নিয়ে যেতে পেরেছিলেন? কারণ একটি জিনিস আমরা জেনেছি সেটি হ'ল আপনার কাছে যে সমস্ত সম্পদ মজুত ছিল সেগুলির ওপর ভিত্তি করে সমাধানযোগ্য সমস্যাগুলি বাছাই করার বিচক্ষণতা আপনার ছিল। আপনি কি সতীশ ধাওয়ানের সাথে কাজ করার সময় সেটিই বেছে নেন?

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

আরএন: আসলে, দুটি জিনিস ঘটেছিল। আমি যখন এখানে এসেছিলাম, তখন আমাদের কাছে কম্পিউটার ছিল না এবং আমি মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রে যেসব কাজ করেছিলাম সেগুলি এখানে করতে সক্ষম ছিলাম না। তবে রেয়ারিফায়েড গ্যাস ডায়নামিক্সের অনেক সমস্যা ছিল, যার মধ্যে কিছু ছিল তাত্ত্বিক। ক্যালটেকে আমি কাজ শুরু করেছিলাম একটি সমস্যার ওপর কিন্তু আমি সেটি শেষ করতে পারিনি। আবারও, গণিতের একটি টুকরো![6] [হেসে] তাই আমি সেটি নিয়ে কাজ চালিয়ে গেলাম। তবে আমি এটিও ঠিক করেছিলাম, যেমন আপনি বললেন, যখন আমরা সেই জিনিসগুলি করার চেষ্টা করছিলাম যেগুলি অন্য কোথাও করা হয়নি, যখন আমাদের যা কিছু আছে তার সদ্ব্যবহার করছি, তখন কিন্তু আমাদের কিছু প্রত্যক্ষ সমস্যাও বেছে নেওয়া উচিত। এখন যে কারণের জন্য আমি নিজের কাছে এইভাবে এটি পেশ করেছি সেটি হলো আপনি যদি এমন কোনও সমস্যা নিয়ে কাজ শুরু করেন যা আমেরিকানরা করছে, অবশ্যই এখানে অনেক লোক তাই করছে, তাহলে, তারা যে সুযোগসুবিধাগুলি পাচ্ছেন সেগুলি ছাড়াই তাদের সাথে প্রতিযোগিতা করতে হবে।

ততদিনে আমি নিজে একটা জিনিস শিখেছি, তাই বলছি- যে অনেক সমস্যাই রয়েছে যা আকর্ষণীয় এবং গুরুত্বপূর্ণ এবং আসলে সম্পন্ন হওয়ার অপেক্ষায় রয়েছে, তবে মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রে তাদের যে মনোযোগের প্রয়োজন, তা পুরোপুরি পায় না, বিভিন্ন কারণের জন্য. ধাওয়ানের সাথে গবেষণা করার দু'বছরে, আমি এটাই শিখেছিলাম - এমন সমস্যা কিছু রয়েছে যেগুলির সম্মুখীন হওয়ার প্রয়োজন, এরা যেন সম্মুখীন হওয়ার জন্য ডাকাডাকি করে এবং ভারতে সেই মুহূর্তে তা করতে পারার ভাল সম্ভাবনা ছিল। সুতরাং আপনি ওই সমস্যাগুলি বাছাই করবেন। আপনি বলতে পারবেন না, "আচ্ছা, ক্যালটেক সেখানে অমুকটি করছে, তাই আমিও সেটি এখানে করব" তবে আপনি যদি জানতেন ক্যালটেক কি করছে না - তবে করতে পারে, তাহলে আপনি এখানে সেটি করতে পারবেন।

আমি আপনাকে এই গল্পটি আগের বারে বলেছিলাম - যখন আমি ক্যালটেক ছেড়ে চলে এসেছিলাম তারা ভেবেছিলেন আমি আর ভারতে ফিরে যাব না। তারা

কল্পনাও করতে পারেনি যে আমি ভারতে ফিরে আসতে পারি এবং ক্যালটেকে থাকার সময় আমি যে সমস্যাগুলি নিয়ে কাজ করেছিলাম সেগুলি নিয়ে আর কাজ করবো না। তবে আমি সবরকম ক্ষেত্রেই আমার মন তৈরি করে ফেলেছিলাম। সুতরাং আমি ফিরে এলাম, কিন্তু যেহেতু আমি সেই তাত্ত্বিক সমস্যাটি শেষ করিনি, তাই আমি এবার ছয় মাসের মধ্যে ফিরে যাই; কারণ তারা বলেছিলেন, "আচ্ছা, আপনি জানেন যে আপনার সমস্যাটি আপনি সম্পূর্ণ করেননি। আমরা আপনাকে এখানে আসার জন্য এবং গ্রীষ্মের সময় দুই বা তিন মাস অতিবাহিত করার আমন্ত্রণ জানাচ্ছি " এবং সেই সুযোগে সমস্যাটির কাজ শেষ করতে বললেন। সুতরাং আমি ফিরে যাই, তবে স্থায়ীভাবে সেখানে থাকার জন্য নয়, কেবল গ্রীষ্মের সময়। সুতরাং সমস্যাটি আংশিকভাবে ক্যালটেক এবং আংশিকভাবে বেঙ্গালুরুতে সমাধান করা হয়েছিল এবং সেখানে তারা পরীক্ষা-নিরীক্ষা চালিয়ে যাচ্ছিলেন। আমি তাতে কিছুটা অংশগ্রহণ করেছি।

তবে এখানের প্রতিষ্ঠানে [আইআইএসসি] কিছু কৌতূহলোদ্দীপক ব্যাপার চলছিল। আমি জানতাম এই প্রতিষ্ঠান কী করছে। তারপরে আমি আবার ফিরে এলাম এবং কয়েকটি সমস্যা বেছে নিলাম যা এখানে করা যেতে পারে। তাদের মধ্যে কিছু সমস্যা ছিল যা এখানে পূর্ববর্তী কাজগুলির দ্বারা প্রস্তাবিত হয়েছিল এবং কিছু কিছু সমস্যা, যা আমি যে ছয়-সাত বছর ছিলাম না তখন এসেছিল।

অশান্ত প্রবাহ নিয়ে কাজ করার সিদ্ধান্ত নিলাম আমি। ধাওয়ানের সাথে দু'বছরের সময় থাকাকালীন যা করেছি সেটি ছিল ট্রানজিশন। এর মধ্যে অন্যতম সমস্যা ছিল রিল্যামিনারাইজেসন (relaminarization)। প্রবাহ সাধারণত ল্যামিনার থেকে টার্বুলেন্ট পর্যন্ত যায় এবং তখনকার সাধারণ ধারণাটি ছিল এই যে একবার টার্বুলেন্টে চলে গেলে আর ল্যামিনার হয়ে ফিরে আসতে পারে না। তবে ১৯৫০-এর দশকে মার্কিন যুক্তরাষ্ট্র ও যুক্তরাজ্যে এমন কিছু পরীক্ষা-নিরীক্ষা করা হয়েছিল যা প্রমাণ করেছিল টার্বুলেন্ট প্রবাহ নির্দিষ্ট পরিস্থিতিতে ল্যামিনার ফিরে আসতে পারে। কোনও কারণে, মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রে এটি খুব বেশি মনোযোগ আকর্ষণ করতে পারেনি, সম্ভাব্য কারণ হলো প্রমাণ অল্প এবং যথেষ্ট বিশ্বাসযোগ্য নয়।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

যখন আমি ১৯৬২ সালে ফিরে আসি, আমি বুঝতে পারি এটি একটি চিত্তাকর্ষক কিন্তু অবহেলিত সমস্যা, তাই আমি এটি অধ্যয়ন করার জন্য একটি প্রোগ্রাম শুরু করি। এই সমস্যাটি নিয়ে এখানে ইতিমধ্যে কিছু চিন্তাভাবনা করা হয়েছিল এবং শেষ পর্যন্ত এটি একটি বড় প্রকল্পে পরিণত হয়। এখানে তৈরি অধ্যয়ন করার জন্য প্রথম কিছু পরীক্ষাগুলির মধ্যে এটি একটি, প্রথম আসল তত্ত্ব, যা আমার মনে হয় সময়ের পরীক্ষায় উৎরে গেছে। এটি ছিল কে.আর. শ্রীনিবাসনের (কেআরএস) [K.R. Sreenivasan's (KRS)] গবেষণামূলক প্রবন্ধ বা থিসিস।

অশান্ত প্রবাহের রিল্যামিনারাইজেসন

ওনার গবেষণামূলক প্রবন্ধটি অশান্ত প্রবাহের রিল্যামিনারাইজেসনের ওপর ছিল?

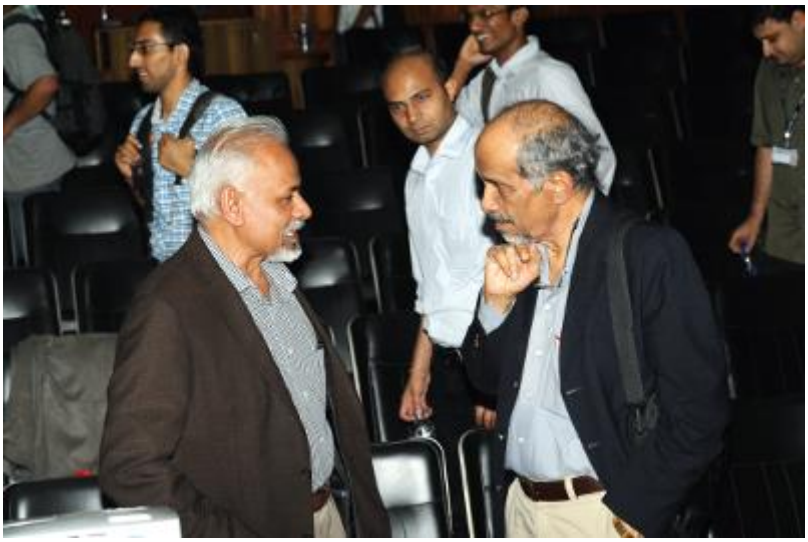
আরএন: এটি বিশেষত একটি টার্বুলেন্ট বাউন্ডারি লেয়ারের (turbulent boundary layer) রিল্যামিনারাইজেসনের ওপর ছিল। এবং আমি মনে করি এটি খুব চমৎকার একটি কাজ হয়েছিল।

শ্রীনিবাসন ছিলেন আমাদের অন্যতম উজ্জ্বল শিক্ষার্থী। তার শিক্ষাগত যোগ্যতা ছিল অসামান্য পাণ্ডিত্যপূর্ণ, পরীক্ষার ফলেও সে সর্বত্র ছিল শীর্ষে - পরে এই প্রতিষ্ঠানের পরীক্ষায়ও শীর্ষস্থান দখল করেছিল। ও এসে আমাকে বলল, "আমি আমার পিএইচডি এখান থেকে করতে চাই।" সেই সময় আমি দুটি বিষয়ে আগ্রহী ছিলাম - রিল্যামিনারাইজেসন এবং বোল্টজম্যানের সমীকরণ। কেআরএস দুটি বিষয়েই আগ্রহী ছিলেন এবং দুটিতে কাজ শুরু করেন! আমাদের উপদেষ্টা ছিলেন শ্যাম মনোহর দেশপাণ্ডে (Shyam Manohar Deshpande)। দেশপাণ্ডের গবেষণামূলক প্রবন্ধ ছিল শক স্ট্রাকচারের ওপর — বি জি কে মডেল নয়, বরং পুরো বোল্টজম্যান সমীকরণের সঙ্গে।

আমরা রিল্যামিনারাইজেসন বিষয়ে দ্রুত নিজেদের অনেকটা এগিয়ে নিতে পেরেছিলাম। এটি আসলে আরও আকর্ষণীয় ছিল এই কারণে যে এটি এর প্রাপ্য

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

মনোযোগ আকর্ষণ করতে পারেনি। মার্কিন যুক্তরাষ্ট্র বোল্টজম্যানের সমীকরণের ওপর অনেক বেশি মনোযোগ দিচ্ছিল।



আর.এন. কে.আর. শ্রীনিবাসনের সাথে আইআইএসসি শতবর্ষ সম্মেলন, ২০০৯ সালে

সৌজন্যে রোদ্দম নরসিমহা

শ্রীনিবাসন ছিলেন আমাদের অন্যতম উজ্জ্বল শিক্ষার্থী

সম্ভবত স্পেস প্রোগ্রামের অগ্রাধিকারের কারণে।

আরএন: একদম তাই। রিল্যামিনারাইজেসনের কিছু প্রাথমিক পরিমাপ আইআইএসসি-তে আমার অন্যতম সহকর্মী এম.এ বদ্রীনারায়ণ করেছিলেন। এবং তার এক ছাত্র ছিল যে আরও কিছু পরিমাপ করেছিল। এই প্রবাহগুলিতে ঠিক কী ঘটছে তা তখন কেউ জানত না এবং এর কোনও ব্যবহারিক নকশা ছিল না। এবং ঠিক এটিই শ্রীনিবাসনের থিসিসে ছিল। সেই সময় পাওয়া এখানকার পরীক্ষাগুলি থেকে অত্যল্প তথ্য যা আমাদের ছিল, তার হিসেবে বেশ ভালই কাজ হয়েছিল বলব এবং ওদিকে তখন মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের লেসলি কোভাস্নে (Leslie Kovasznay) পরপর পরীক্ষা-নিরীক্ষার চালাচ্ছিলেন, আমাদের এই তত্ত্বটি পাওয়ার ঠিক আগেই।

সুতরাং আমরা এই পরীক্ষা থেকে পাওয়া পর্যবেক্ষণগুলিও ব্যাখ্যা করার চেষ্টা করেছি এবং দেখিয়েছি যে আমাদের মডেল মূল্যবান ভবিষ্যদ্বাণী করতে পারে।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

আমরা অবশ্য এও জানতে পারি যে এমন কিছু পরিস্থিতি রয়েছে যেখানে আমরা কী ঘটছে তা অনুমান করতে পারিনি, তবে এর বাকি অংশটি নিয়ন্ত্রণে ছিল এবং আমরা আসলে কী ঘটতে পারে তা বলতে পেরেছিলাম। এবং এটি একটি ছাপ ফেলেছিল। যাইহোক, সেই সময়ে, এটিই ছিল তখনকার একমাত্র সহজলভ্য তত্ত্ব।

আমাদের মডেলটিতে যে কিছু কাজ হয় তা বুঝতে লোকেরা কয়েক বছর সময় নিয়েছিল। সুতরাং শ্রীনিবাসন এবং আমি সেই গবেষণাপত্র লিখেছিলাম[7] এবং কিছুসময় পরে, ১৯৭৯ সালে আমরা তার একটি পর্যালোচনাও লিখেছিলাম এবং দেখিয়েছিলাম আরও অনেক শর্ত রয়েছে যার অধীনে রিল্যামিনারাইজেসন ঘটতে পারে।

কিন্তু কোলমোগোরভ (Kolmogorov) যে বলেছেন প্রবাহ সর্বদা ল্যামিনার থেকে টার্বুলেন্ট-এর দিকেই যাবে এবং এটি কখনই পিছনে ফিরবে না এবং অবশেষে হারিয়ে যাবে। কোলমোগোরভের গবেষণামূলক প্রবন্ধের আলোতে, কেউ রিল্যামিনারাইজেসনকে কী ভাবে দেখবে?

আরএন: আচ্ছা, এই ভাবে দেখা যাক। যদিও এটি সত্য যে বেশিরভাগ লোকেরা সাধারণত ল্যামিনার প্রবাহ টার্বুলেন্টের দিকে চলেছে বলে মনে করেন, টার্বুলেন্ট-থেকে-ল্যামিনারের বিপরীত রূপান্তরটি নিজে থেকে কখনো ঘটে না। এটি সাধারণত এমন কোনও এজেন্টের মাধ্যমে ঘটে যার প্রভাবের ব্যাপারে কখনোই আগে থেকে ভাবা যায় না।

আমি আপনাকে একটি উদাহরণ বলি যেখানে কোলমোগোরভ বা রেনল্ডস (Reynolds) দুজনের কেউই ভুল প্রমাণিত হন না। ধরা যাক আপনার কাছে একটি প্রবাহ রয়েছে। মনে করুন আপনি একটি পাইপ নিলেন এবং প্রবাহটি তার মধ্যে দিয়ে টার্বুলেন্টে আসছে। এখন, পাইপের ব্যাস প্রসারিত করা শুরু করুন। প্রবাহের বেগ কমতে শুরু করবে। তবে বেগের কমার গতি যদি ব্যাসের প্রসারণের হারের চেয়ে বেশি হয় তবে রেনল্ডস সংখ্যাটি নীচে নেমে যাবে। সুতরাং এই পাইপটি একটি এমন বৃহত্তর জিনিসে পরিনত হয় যেখানে ভর সংরক্ষণ বজায়

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

রেখে, বেগ কমে যাবে এবং রেনল্ডসের সংখ্যা ক্রমশ নীচে চলে যাবে। যদি রেনল্ডস সংখ্যা তার সঙ্কট-মানের থেকেও নীচে চলে যায়, তবে এটি ল্যামিনার হবে। রেনল্ডস বা কোলমোগোরভ কেউই এতে অবাক হতেন না।

যাই হোক, রিল্যামিনারাইজেসন এমন পরিস্থিতিতেও দেখা যায় যেখানে আপনি সাধারণত সন্দেহ করবেন না যে এমন কিছু ঘটবে, যেমন, আপনি যখন প্রবাহকে ক্রমশ ত্বরান্বিত করবেন। আপনার আশার বিপরীতে, উদ্ধৃত পাইপের উদাহরণে, সেক্ষেত্রে প্রবাহ হ্রাস পাবে।

ধরুন, আপনি একটি সীমানা স্তর নিলেন - এটি একটি নির্দিষ্ট বেগের অধীনে চলছে — এবং আপনি ক্রমশ গতি বৃদ্ধি করলেন; ধরুন, দ্বিগুণ বা তিনগুণ বাড়ালেন। তার পরে, ত্বরান্বিত হওয়ার সময় টার্বুলেন্ট সীমানা স্তরের যেমন ব্যবহার করা উচিত সীমানা স্তরটি আর সেভাবে আচরণ করে না।

এটি কি রেনল্ডস নম্বর নির্বিশেষে? খুব উচ্চ রেনল্ডস সংখ্যাতেও?

আরএন: এটাই হল মূল কথা। এমনকি উচ্চ রেনোল্ডস সংখ্যায়। এখন, আমি আপনাকে বলেছিলাম যে আমার এক সহকর্মী এই পরীক্ষাগুলি করেছেন। তিনি এমন সিদ্ধান্তে পৌঁছেছেন যা আমি আসলে বিশ্বাস করতে পারিনি, সেটি হ'ল আপনি যখন প্রবাহকে ত্বরান্বিত করেন তখন রেনল্ডস সংখ্যা এত কমে যায় যে এটি সঙ্কট-মাত্রার নীচে চলে যায় এবং তাই প্রবাহটি ল্যামিনার প্রবাহে পরিবর্তিত হয়।

আসলে, আমরা রেনল্ডস সংখ্যা এবং এগুলির সম্পর্কে যা শিখেছি সেখান থেকে এটিই হলো আদর্শ যুক্তিসম্মত ব্যাখ্যা। তবে কোভাস্নের গবেষণাপত্র বেরিয়েছিল ঠিক সেই সময় যখন আমরা আমাদের গবেষণার শেষ পর্যায়ে রয়েছি, যেখানে রিল্যামিনারাইজেসন একটি স্পষ্ট উচ্চতর রেনল্ডস সংখ্যায় কি হয় তার ব্যাপারে পর্যবেক্ষণ ছিল এবং যেখানে প্রবাহটি "সঙ্কটজনক" রেনল্ডস সংখ্যার নীচে যায় নি, তবে ইতিমধ্যেই এটি অন্যরকম আচরণ করা শুরু করে। সুতরাং, প্রকৃতপক্ষে,

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

আমরা যে সমস্যাটি সমাধান করতে পেরেছি তা হ'ল: রেনল্ডস সংখ্যা তথাকথিত সঙ্কটজনক মানের চেয়েও বেশি থাকলে কীভাবে প্রবাহটি ল্যামিনার হতে পারে?

এখন, প্রবাহটির ল্যামিনার হওয়ার অর্থ কী? আপনি যদি মৌলিক বিষয়গুলি থেকে শুরু করেন এবং ল্যামিনার প্রবাহ বলতে কী বোঝায় সেটি সঠিকভাবে নির্ধারণ করতে চান তবে সাধারণ সংজ্ঞাটি দাঁড়ায়: আপনি প্রবাহ নিয়ে একটি অনুসন্ধান করেছিলেন যা বেগের ওঠানামা পরিমাপ করে; যদি বেগের ওঠানামা এলোমেলো হয় তবে তা টারবুলেন্ট। তবে এটি ভীষণই সরলীকৃত, কারণ পরোক্ষ টারবুলেন্স-এর ওঠানামা থাকতে পারে, এর অর্থ হল, আপনি ওঠানামা দেখবেন বটে, তবে তা মোটেই প্রকৃত অর্থে গতিশীলতা নির্ধারণ করে না।

রিল্যামিনারাইজড প্রবাহে আমরা যা জানতে পেরেছিলাম তা হ'ল কিছুটা টার্বুলেন্স থেকেই যায় - যতটা প্রত্যাশিত ততটা নয় — তবে প্রবাহের ওপর এর কোনও প্রভাব থাকে না। যদি আমরা মডেলটি রেনল্ডস সমীকরণের টার্বুলেন্স পদগুলি ছাড়াই গঠন করি, তবে এটি তথ্যের সঙ্গে খাপ খায়। এগুলি এমন সমস্ত ধারণা ছিল যা সেই সময় খুবই নতুন এবং একে একে এই সমস্ত বিষয়গুলির প্রতি যত্ন নেওয়া শুরু হয়। শেষ পর্যন্ত আমরা প্রায় সব ব্যাখ্যাই দিতে পেরেছিলাম।

আপনি বড় রেনোল্ডস সংখ্যা সম্পর্কে প্রশ্ন জিজ্ঞাসা করেছেন। বিমানের ডানায় খুব উচ্চ রেইনল্ড সংখ্যায় রিল্যামিনারাইজেশন পাওয়া গেছে। ১৯৭৯[8] তে আমাদের পর্যালোচনা লেখার পরে, ১৯৯০-এর দশকে আমাদের মনে হয়েছিল যে রিল্যামিনারাইজেশনর প্রতি আগ্রহ হ্রাস পাচ্ছে। আমরা মেঘ এবং সরাসরি সিমুলেশন সংখ্যার ওপর আরও কাজ করা শুরু করি।

তবে উচ্চ রেনল্ডস সংখ্যা সংক্রান্ত বিষয়ের নিষ্পত্তি শেষ পর্যন্ত হয়নি। লোকেরা দেখেছিল অবিচ্ছিন্ন ডানাগুলির ওঠানামা কমে আসে। বোয়িং এটি ৭৩৭ এর ডানায় খুঁজে পেয়েছিল, তবে কীভাবে এর ব্যাখ্যা হয় তা কেউ জানত না। এই সময়ের মধ্যে, লোকেরা আরও ভাল যন্ত্রপাতি যেমন লেজার পারটিকল ইমেজিং ভেলোসিমেট্রি (laser particle imaging velocimetry) ইত্যাদি তৈরি করছিল।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

সুতরাং বিগত ১৫ বছরে, উচ্চতর রেনল্ডস সংখ্যায় রিল্যামিনারাইজেসনের ব্যাপারে আগ্রহের পুনরুজ্জীবন হয়েছে। ভরবেগের ঘনত্বের (momentum thickness) ওপর ভিত্তি করে এখন সর্বাধিক অর্জন করা হয়েছে ৫০০০, যা সীমানার স্তর ঘনত্বের উপর ভিত্তি করে প্রায় ১০০,০০০ হবে এবং এটি দৈর্ঘ্যের উপর ভিত্তি করে আরও বিশাল একটি ক্রম হবে। সুতরাং এটি একটি বেশ উচ্চ রেনল্ডস সংখ্যাই বটে।

আমাদের নিজের দেহে রিল্যামিনারাইজেশন সব সময় ঘটে চলেছে, রীতিমত আক্ষরিক অর্থে আমাদের নাকের ডগায়।

জার্মানিতে ফের্নহলজ (Fernholz) এবং ওয়ার্নাকেরও (Warnack) এই কাজ করছিলেন যারা প্রায় ২৫০০-৩০০০ এ কিছু উচ্চ রেনল্ডস নম্বর নিয়ে এই পরীক্ষা করেছিলেন। সুতরাং তারা প্রকৃতপক্ষে আমাদের তত্ত্বকে প্রায় সরাসরি তদন্তের অধীনে রেখেছিলেন এবং আবিষ্কার করেছিলেন যে এটি কার্যকর হয়েছে। আমাদের তত্ত্বটি প্রত্যাখ্যান করা হয়নি এবং এই প্রথমবার, তুলনামূলকভাবে উচ্চ রেনোল্ডস সংখ্যার খুব সরাসরি নিশ্চিতকরণ করা হয়েছিল।

দৈনন্দিন জীবনে রিল্যামিনারাইজেসন

আসলে, এই প্রবাহগুলি কি আমরা প্রতিদিনের জীবনে দেখতে পাব? যেমন ধরুন, যখন কোনো জলের কল খুলব?

আরএন: আমরা আসলে এত বছর ধরে যা শিখেছি তা হ'ল রিল্যামিনারাইজেসন বাস্তবে তেমন বিরল নয়, যতটা লোকে ভাবেন। প্রথমদিকে, অনেকে এটি অসম্ভব বলে মনে করেছিলেন। অনেকে মনে করেন যে এই অনাবস্থা থেকে অবস্থায় ফেরা

একরকম ভাবে থার্মোডাইনামিক্সের (thermodynamics) বিরোধিতা করে, কিন্তু আসলে তা নয়, কারণ সিস্টেমটি উন্মুক্ত। আমরা এমন অনেকগুলি ঘটনা দেখেছি যেখানে এমনটা ঘটেছে – বস্তুত বাস্তবে এমন সর্বদাই ঘটছে। উদাহরণস্বরূপ, এটি আমাদের ফুসফুসে ঘটে। ধরুন আপনি অনেকটা দৌড়াদৌড়ি করেছেন বা পরিশ্রম করেছেন এবং সেই কারণে প্রচণ্ড জোরে শ্বাস নিচ্ছেন, তখন রেনল্ডস সংখ্যা আপনার ফুসফুসের প্রবাহ টার্বুলেন্টে পৌঁছনোর যথেষ্ট।.

জেএনসিএএসআর (JNCASR) -এ আরএন এর ল্যাব। সৌজন্যেঃ রোদ্দম নরসিমহা

ফুসফুসের ভিতরে?

আরএন: ফুসফুসের গভীরে নয়, যেখানে ছোট্ট কৈশিক নাড়িতে (capillaries) অসংখ্য ব্রোঙ্কিওলস (bronchioles) এসে শেষ হয়। সেখানে প্রবাহ টার্বুলেন্ট হতে পারে না কারণ রেনোল্ডস সংখ্যা সেখানে খুব কম। আমাদের নিজের দেহে রিল্যামিনারাইজেশন সব সময় ঘটে চলেছে, আক্ষরিক অর্থে রীতিমত আমাদের নাকের ডগায়।

আবার এটি বায়ুমণ্ডলেও ঘটে। উদাহরণস্বরূপ, সূর্যাস্তের সময়ে - যদিও আজকাল ব্যাঙ্গালোরে সেটা এতটা সহজ নয় — আপনি কখনও কখনও কিউমুলাস মেঘের ঘনঘটা বুদবুদ-এর আকার তৈরি করতে দেখেছেন। তারপরে কিছু একটা ঘটে এবং এগুলি ওপরে খুব মসৃণ সমতল তৈরি করে; মেঘের উত্থান বন্ধ হয়ে যায়। এটির কারণ সূর্য অস্ত যাওয়ার সাথে সাথে বায়ুর আগে স্থলভাগ শীতল হয়ে যায়। অতএব, নিম্ন বায়ুমণ্ডলে একটি “ইনভারসান" থাকে: তাপমাত্রা কমার পরিবর্তে

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

উচ্চতার সাথে তা বেড়ে যায়। তাই শীতল মেঘের বায়ু উত্থিত হতে পারে না, প্রায়শই তা মিলিয়ে যায় এবং টার্বুলেন্স আর প্রবাহ দ্বারা সমর্থিত হতে থাকে না।

গবেষণাগারে মেঘের প্রবাহ তৈরি করা

সাম্প্রতিক বছরগুলিতে, জেএনসিএএসআর-এ আপনার কাজের ক্ষেত্রে, আপনি মেঘ গঠনের বিষয়ে আরও বেশি মনোনিবেশ করছেন। আপনি কি এমন কোনো মেঘের কক্ষ (Cloud chamber) তৈরী করেছেন যা আপনাকে কৃত্রিমভাবে মেঘ উৎপাদন করতে সাহায্য করে?

আরএন: প্রথমত, কাজটি আসলে আইআইএসসি-তে বায়ুমণ্ডল ও মহাসাগর বিজ্ঞান কেন্দ্রে (সিএওএস) (CAOS) শুরু হয়েছিল। আমরা আসলে মেঘ সৃষ্টি করছি না, আমরা মেঘের প্রবাহ সৃষ্টি করছি। দুটির মধ্যে পার্থক্য বুঝিয়ে বলছি। এদের মধ্যে পার্থক্য করার কারণ হ'ল মেঘের মধ্যে জলীয় বাষ্প (water vapour), জলের ফোঁটা (water droplets), অ্যারোসল (aerosols), বিকিরণ (radiation) ইত্যাদি থাকতে হবে এবং এক্ষেত্রে জলীয় বাষ্পের ঘনীভূত হওয়া ও তাপ নিঃসরণ করা উচিত।

আমরা এখানে যেটা বলছি সেটা হল মেঘ গঠন প্রাথমিকভাবে একটি জটিল তরল-গতিবিজ্ঞান সমস্যা (complex fluid dynamical problem)। প্রশ্নটি হ'ল এর কোন সহজতর সংস্করণের তাৎপর্য জটিল তরল-গতিবিজ্ঞানের মতনই রাখা যায় কিনা, যেখানে প্রবাহের আচরণের সাথে আসল কিউমুলাস মেঘের মতন একই বৈশিষ্ট্য রয়েছে, যেমন ধরুন তাদের আকার, বৃদ্ধির হার, প্রবেশের বৈশিষ্ট্য ইত্যাদি। এমনকি যদি এটি প্রথমে কমপক্ষে মূলদ আসন্নতায় করা যায় তবে অন্যান্য বিবরণগুলি ধীরে ধীরে অন্তর্ভুক্ত করা যেতে পারে।

ঘটনাচক্রে এটি সত্যি নয় যে এখনও কেউ এ জাতীয় মডেলের চেষ্টা করেন নি। কেমব্রিজের জে স্টুয়ার্ট টার্নার (J. Stewart Turner) একজন অগ্রপথিক ছিলেন, তবে মেঘের 'আকার' পুনরুৎপাদন করতে পারেনি। আমার কাছে এটি অসাধারণ

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

বলে মনে হয়েছিল যে এখানে এমন একটি সমস্যা রয়েছে যার মূলসূত্রগুলি আমরা বুঝতে পারছিনা, যদিও আমরা আমাদের চোখে প্রতিদিন তা ঘটতে দেখি এবং যা বর্ষা তথা বিশ্ব জলবায়ু পরিবর্তনের কেন্দ্রবিন্দুতে অবস্থিত। তবে, এখন এই ধরনের গোষ্ঠীর সংখ্যা খুব কম।

মেঘের জন্য অনেক গাণিতিক মডেলও রয়েছে, তবে সেগুলি প্রচুর অনুমান-নির্ভর এবং একে অপরের থেকে অনেকটাই ভিন্নমত। ইঞ্জিনিয়াররা যেভাবে টার্বুলেন্স প্রবাহের ব্যাপারস্যাপার করেন, এটি তার মতন কিছুটা। সুতরাং আমার আবারও মনে হয়েছিল যে সমস্যাটিতে সত্যিই আলোকপাত করার দরকার, তবে সমস্যাটি যথেষ্ট মনোযোগ আকর্ষণ করতে পারেনি। আমি এই ধরনের জিনিসই খুঁজছিলাম, তাই আমি মেঘের ওপর এই প্রকল্পটি শুরু করি। এবং আমাদের প্রথম উল্লেখযোগ্য পরীক্ষা-নিরীক্ষা ছিল জি.এস. ভাটের পিএইচডি (G.S. Bhat) গবেষণামূলক প্রবন্ধে।

প্রায় দুই বছর আগে, নেচার (Nature)[9] -এ একটি গবেষনাপত্র ছিল যেখানে নিখুঁত স্বল্পমেয়াদী আবহাওয়ার পূর্বাভাসের কথা বলা হয়েছিল। সেখানে যুক্তি দিয়েছিল যে আপনি যদি এক দিন এবং তিন দিনের পূর্বাভাস দেখেন তবে সেগুলি ধারাবাহিকভাবে আরও ভাল হয়ে উঠছে। এটি কীভাবে সম্ভব, যখন আমাদের মেঘ গঠনের বিষয়েই খুব ভাল করে কোন ধারণা গড়ে ওঠেনি?

আরএন: ওরা বলেছিলেন, আরও ভাল হচ্ছে। ওরা এটা বলেননি যে এটি খুব ভাল ছিল। [হেসে] এগুলি ক্রমে আরও ভাল হচ্ছে, এটা সত্যি। এটা আংশিকভাবে আরও ভাল হচ্ছে কারণ মেঘের মডেলগুলি ক্রমশ আরও উন্নত হচ্ছে, আরও পরিশীলিত হচ্ছে, কম্পিউটারগুলি আরও শক্তিশালী হচ্ছে, আর আমাদের কাছেও, পর্যবেক্ষণ থেকে আরও অনেক বেশী বেশী তথ্য আসছে। আমি মনে করি আমরা এই মেঘগুলি দেখার জন্য লার্জ এডি সিমুলেশন (এলইএস) [Large Eddy Simulations (LES)] নামে যা পরিচিত, তার খুব কাছাকাছি রয়েছি। তবে সম্প্রতি আরও একটি নিবন্ধ 'নেচার' বের করেছে যেখানে পদার্থবিদদের মেঘের

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

উপর আরও বেশী করে গবেষণা করে আমাদের গ্রহকে বাঁচানোর আবেদন করেছে!

তবে, এমনকি সেই মডেলগুলিতেও, যদি আপনি জিজ্ঞাসা করেন "মেঘের অভ্যন্তরে কী ঘটছে তার গতিপ্রকৃতি আমাকে বলতে পারেন?", আপনি খুব ভাল কিছু বলতে সক্ষম হবেন না।

উড়ানযোগ্যতার একটি গাণিতিক নকশা: দ্য অভ্র (Avro) স্টোরি

আপনার গবেষণার প্রকাশনা সংক্রান্ত নথি থেকে বেশ কয়েকটি ফলিত প্রকল্প আমাদের আলাদা করে চোখে পড়েছে। একটি প্রকল্প ছিল ১৯৭০ এর দশকে অভ্র ৭৪৮ নামক বিমানের উপরে, এর উড়ানযোগ্যতার পরীক্ষা করার জন্য। ফ্লুইড মেকানিক্সে আপনি যে অন্য সমস্ত তাত্ত্বিক গবেষণা করেছেন তার থেকে এটিকে খুব আলাদা বলে মনে হয়। এটি কীভাবে এলো?

আরএন: আসলে একদিন, যথাযথভাবে বলতে গেলে, ১৯৭০ সালের ১লা ডিসেম্বর, ভারতীয় বিমান সংস্থার (আইএ) বিমান চালকরা অভ্র ৭৪৮ উড়োজাহাজটি চালাতে অস্বীকার করে বলেছিল যে বিমানটি নিরাপদ নয়, কারণ এর আরোহণের হার ব্রিটিশ নাগরিক উড়ানযোগ্যতার বিধি (British civil airworthiness regulations) দ্বারা নির্ধারিত আরোহণের হারের নিচে। তাই প্রচুর ফ্লাইট বাতিল করতে হয়েছিল।

এটাই ছিল সমস্যা। সরকার যা করেছিল তা হ'ল বিমানটি নিরাপদ ছিল কি না তা খতিয়ে দেখার জন্য কমিটি নিয়োগ।

তখনকার দিনে এটি কি পরিষেবারত একমাত্র বিমান ছিল?

আরএন: ইন্ডিয়ান এয়ারলাইনস বোম্বে - পুনে এবং বেঙ্গালুরু – চেন্নাইয়ের মতো স্বল্পদৈর্ঘ্য রুটে ৭৪৮ কে চালাতো।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

অ্যাভ্র 748 রুথ এএস/উইকিমিডিয়া কমন্স

এই সমস্যার প্রতি আমার আগ্রহ স্টোকাস্টিক প্রক্রিয়াগুলির দ্বারা উদ্বুদ্ধ হয়েছিল

৭৪৮ এর দুর্ঘটনার পরে, সরকার বিমানের উড়ানযোগ্যতার তদন্তের জন্য সতীশ ধাওয়ানকে (Satish Dhawan) এক সদস্যের কমিটি হিসাবে নিয়োগ করেছিল। ধাওয়ান যা করেছিলেন তা হলো শিল্পসংস্থা, বিমান বাহিনী এবং ডিজিসিএ [ডিরেক্টর জেনারেল অফ সিভিল এভিয়েশন]-এর থেকে লোক নিয়ে একটি উপদেষ্টা সমিতি গঠন এবং ইন্সটিট্যুট-এর (আইআইএসসির) বিজ্ঞানীদের সমন্বয়ে আর ন্যাল (NAL) [ন্যাশনাল এরোস্পেস ল্যাবরেটরীস] ও হ্যাল (HAL) [হিন্দুস্থান এরোনটিক্স লিমিটেড] থেকে লোক নিয়ে একটি বিশ্লেষক দল গঠন করেছিলেন।

তৎকালীন নাগরিক উড়ানযোগ্যতার বিধিবিধানের যৌক্তিকতা খুঁজে পেতে আমাদের কিছুটা সময় লেগেছিল। ব্রিটিশদের কাছে মুখ্য বিমান চলাচলের প্রথম বিধি ছিল যা বিভিন্ন প্রযুক্তিগত কর্মক্ষমতার পরিসরগুলিকে নির্দিষ্ট করে। আমি বিভিন্ন গবেষণা করেছি, যার মধ্যে একটি হলো অভ্র আসলে অ-নিরাপদ কিনা তা বের করা, এটি কী কী দুর্ঘটনার শিকার হয়েছিল তা সন্ধান করে। সুতরাং আমি ডিজিসিএ এবং অন্যান্য দেশ থেকে এর সমস্ত তথ্য পেলাম। আমি জানতে পেরেছিলাম যে অভ্র ৭৪৮-এর দুর্ঘটনার হার অন্য কোনও বিমানের চেয়ে খুব বেশি আলাদা নয়।

এটি অন্যান্য বিমানের তুলনায় উল্লেখযোগ্যভাবে বেশি অ-নিরাপদ ছিল না?

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

আরএন: কোন নথি উল্লেখযোগ্যভাবে দেখায়নি যে এটি বেশি অ-নিরাপদ ছিল। তখন আমি জিজ্ঞাসা শুরু করি, "ব্রিটিশরা কীভাবে এই বিমান চালাচ্ছে?" কারণ তারা তাদের উড়ানযোগ্যতা সংক্রান্ত লিখিত বিধিগুলির তুলনায় নিম্ন নতিমাত্রায় বিমান চালানোর অনুমতি দিচ্ছিল।

এমনকি এটি তাদের নিজস্ব উড়ানযোগ্যতার নীতি লঙ্ঘন করা সত্ত্বেও?

আরএন: আপাতদৃষ্টিতে তাই এবং তা ঠিক হিসাবেই পরিগনিত হয়েছিল। যাই হোক, আমরা বিমান, এর ইঞ্জিন ইত্যাদিতে প্রচুর পরীক্ষা চালিয়েছিলাম।

এইসব পরীক্ষা কি বিমানটি আসলে যখন উড়ছিল তখন করা?

আরএন: হ্যাঁ, তবে এতেই সীমাবদ্ধ নয়; বিমানগুলি প্রকৃতপক্ষে একটি ইঞ্জিনে উড়েছিল। আমার এখনও মনে আছে প্রথম কখন এই জাতীয় বিমানের উড়ান পরীক্ষা হয়েছিল। ধাওয়ান সেখানে ছিলেন, আমি ছিলাম এবং উপদেষ্টা সমিতির কয়েকজন সদস্য ছিলেন। চালক যিনি ছিলেন, তিনি খুবই পরিচিত ছিলেন এবং তিনি সেই সময়ের অন্যতম সেরা বিমান চালক ছিলেন, উইং কমান্ডার পদ্মনাভ অশোক (Wing Commander Padmanabha Ashoka)। বিমান বাহিনী থেকে অবসর নেওয়ার পরে অশোক এইচএএল (HAL)-এর টেস্ট পাইলট ছিলেন এবং তারপরে কয়েক বছর এনএএল-এ কাজ করেছিলেন।

সুতরাং টেস্ট পাইলটকে এই পরীক্ষাগুলিতে বিমানটি ওড়াতে হয় এবং একটি নির্দিষ্ট সময়ে তাকে একটি ইঞ্জিন বন্ধ করে দিতে হয়।

এটি কি একটি যমজ ইঞ্জিন চালিত বিমান ছিল?

আরএন: একদম ঠিক। এবং সমস্যাটি ছিল যখন কেবল একটি ইঞ্জিন চালু থাকত তখনকার আরোহণের নতিমাত্রার সম্পর্কে।

বিমান যখন মাটির ওপর চলে তখন একটা নির্দিষ্ট 'সিদ্ধান্ত' গতি থাকে। বিমানটি যখনই সেই গতি অতিক্রম করে সাথে সাথেই বিমানটি উড়ানোর সিদ্ধান্ত নেওয়া

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

হয় এবং এমনকি ইঞ্জিন ব্যর্থ হলেও বিমান চালককে বিমানটিকে আরোহণ করাতে হবেই।

যদিও অশোক এ সম্পর্কে কৌতুক করে বলতেন "আমি যদি গাছের আড়ালে অদৃশ্য হয়ে যাই তবে দয়া করে আমার স্ত্রীকে জানিয়ে দেবেন!" [হাসি] - বিমান কোনও বিপত্তি ছাড়াই প্রস্থান করে এবং আমরা তিনদিনের মধ্যে বিমানের যে পরীক্ষা শেষ করার কথা বলেছিলাম তা একদিনেই সম্পন্ন হয়েছিল।

আমার ছিল প্রযুক্তিগত কাজ দেখার দায়িত্ব, আরোহণের হারের পূর্বাভাস, আমাদের প্রাপ্ত তথ্য বিশ্লেষণ করা ইত্যাদি আমি দেখেছিলাম। ব্রিটিশরা কেন এই বিমানটিকে উড়ানযোগ্য মনে করেছিল তা নিয়ে একটি প্রশ্ন সর্বদাই উপস্থিত ছিল। ব্রিটিশদের মতো বিমান চালানোর পরীক্ষার অভিজ্ঞতা আমাদের ছিল না। ব্রিটিশরা ডিসি৩ [ডাকোটা] (DC3 [the Dakota])-এর বিষয়ে তাদের ব্যবহারিক অভিজ্ঞতার ওপর ভিত্তি করে এটি তৈরি করেছিল। নিয়মগুলি ১৯৩০-এর দশকে তৈরি হয়েছিল, যখন ডাকোটা ছিল খুবই জনপ্রিয়।

বিমান এবং ইঞ্জিনের কর্মক্ষমতার ওপর নির্ভরযোগ্য তথ্য পাওয়ার জন্যে দুবছর সময় ব্যয় করেছিলাম এবং বিশেষ করে লক্ষ করেছিলাম কীভাবে সময়ের সাথে আরোহণের নতিমাত্রা পরিবর্তিত হয় তার ওপর।

ব্রিটিশরা যে পর্যবেক্ষণ করেছিল আমরা তার পুনরাবৃত্তি করতে পারিনি — আমাদের কাছে তত তথ্য ছিল না। সুতরাং আমি ভাবলাম আমরা একটি গাণিতিক মডেল বানাতে পারি যেটাকে আমি স্টোকাস্টিক সংশোধন প্রক্রিয়া বলেছিলাম। এই প্রক্রিয়াতে, এমনভাবে রক্ষণাবেক্ষণ করা যায় যা কর্মক্ষমতাকে উন্নত করে, কারণ অন্যথায়, আপনার কর্মক্ষমতা ক্রমাগত হ্রাস পাবে। তথ্য দেখালো, আরোহণের নতিমাত্রা বা ইঞ্জিনের শক্তির মতো পরিমাপকগুলি (রক্ষণাবেক্ষণের পরীক্ষার পরে) সময়-সাপেক্ষে হঠাৎ বৃদ্ধি দেখাচ্ছে এবং পরপর দুবার পরীক্ষা করে দেখার মধ্যে ধীরে ধীরে তার অবনতি ঘটছে। পরীক্ষায় জড়িত সমস্ত পরিবর্তন কোনো এক দিক থেকে পরিসংখ্যানগত ছিল। এটির দ্বারা আমার মনে হয় যে সময়-সাপেক্ষে এটিকে

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

একটি কর্মক্ষমতার স্টোকাস্টিক সংশোধনমূলক প্রক্রিয়া (রক্ষণাবেক্ষণের পরীক্ষা দ্বারা অবনতির সংশোধন) বলা যেতে পারে।

তবে সঠিকভাবে বিমানের তথ্য (flight data) অর্জন করা কোনও নিয়মমাফিক কাজ ছিল না; প্রকৃতপক্ষে, থ্রাস্ট = ভর × ত্বরণ, কোন সহজ জিনিস ছিল না, কারণ বিমান ওড়ানোর সময় থ্রাস্টের মান জানার প্রয়োজন হয়। অবশেষে যখন এটি শেষ পর্যন্ত পাওয়া গেল, বিশ্লেষক গোষ্ঠীর একটি সভায় এন এ এল এবং এইচ এ এল থেকে আমাদের বন্ধুরা এটির ঘোষণা করলেন, তখন আইআইএসসির ফ্যাকাল্টি দের মধ্যে পিএইচডি প্রাপ্ত বিরল বিমান চালক প্রয়াত ডঃ রুস্তম দামানিয়া (Dr. Rustom Damania) আনন্দের সাথে বলেছিলেন "আহা! নিউটন ঠিক বলেছেন!"

একটি দীর্ঘ গল্প সংক্ষিপ্ত করে বললে, আমরা সেই স্টোকাস্টিক প্রক্রিয়ার মডেল তৈরি করেছিলাম যার মধ্যে আমরা এই সমস্ত জিনিস রেখেছিলাম। তারপরে আমরা স্টোকাস্টিক প্রক্রিয়াটির একটি মন্টি কার্লো সিমুলেশন (Monte Carlo simulation) করি যা বিমানের কার্যক্ষমতা প্রকারভেদের সংজ্ঞা দেয় যা ধীরে ধীরে কমে আসে কিন্তু যাকে সংক্ষিপ্ত সংশোধন দ্বারা পুনরুদ্ধার করা যায়।

এই স্টোকাস্টিক প্রক্রিয়াটি কি এভাবে কল্পনা করা যেতে পারে যে, বিমানের কার্যক্ষমতার কিছু কিছু পরিমাপ যেমন, আরোহণের হার, সময়ের সাথে সাথে হ্রাস পাবে তার বেশ বেশী সম্ভাবনা রয়েছে?

আরএন: না, আমি ঠিক তা বলব না। সঠিক বক্তব্য হলো, স্টোকাস্টিক প্রক্রিয়াটি অবনতির বিষয়কে বিবেচনায় রাখে। অবনতি হচ্ছে, এ নিয়ে কোনও সন্দেহ নেই। যাই হোক, ইঞ্জিনটি রক্ষণাবেক্ষণের কারণে সতেজ হওয়ার পরে এটি আপনাকে আসলে এমন একটি চাপ দেয় যা আপনার প্রয়োজনের চেয়ে বেশি। এবং তারপরে, সময়ের সাথে সাথে, সেই চাপ নেমে আসে। একটি ভাল ডিজাইন আপনাকে নিশ্চিত করে যে উড়ানযোগ্যতার বিধিগুলি পূরণের জন্য আপনার যা

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

প্রয়োজন তার চেয়ে ঐ চাপ যেন নীচে না যায় এবং এটি রক্ষণাবেক্ষণের প্রক্রিয়ার উপর নির্ভর করে।

সুতরাং, আমাদের মডেল যা করেছিল তা হলো এটি ভারতে ওই চাপের অবনতি সংক্রান্ত তথ্য নিয়েছিল, যেখানে আমাদের বায়ুমণ্ডলের, তাপমাত্রার, সিস্টেমের রক্ষণাবেক্ষণ ইত্যাদির প্রত্যক্ষ ভূমিকা ছিল। সুতরাং এটি ছিল খুবই ভারত-ভিত্তিক। এবং আমাদের প্রচুর সংখ্যক পরীক্ষা করতে হয়েছিল এবং তারপরেই আমরা বাস্তব পর্যবেক্ষণের সম্ভাবনা বন্টনের সেই তথ্য মন্টি কার্লো কোডে দিলাম, যেটি ডঃ এন রামানি (Dr. N. Ramani) লিখেছিলেন, যিনি এর আগে আইআইএসসিতে আমার সহকর্মী ছিলেন।

আমরা দেখতে পেয়েছিলাম যে দুর্ঘটনার সম্ভাবনা আসলে খুব কম ছিল এবং ফলাফলটি সম্পর্কে আমাদের সবার আগে নিজের দলকে বোঝাতে হয়েছিল। [হেসে] তাহলে, কেন দুর্ঘটনার সম্ভাবনা এত কম ছিল? কারণ অভ্র ৭৪৮ দুটি রোলস রয়েস টার্বো-প্রপ ইঞ্জিন দ্বারা চালিত ছিল। ডাকোটা, যার ভিত্তিতে ব্রিটিশরা তাদের উড়ানযোগ্যতা সংক্রান্ত নিয়মগুলি তৈরি করেছিল, সেটিতে ছিল পিস্টন ইঞ্জিন। টারবাইন ইঞ্জিন প্রবর্তনের পরে ইঞ্জিনের ব্যর্থতার সম্ভাবনাগুলি হ্রাস পায়, যা কম চলমান অংশগুলির কারণে সহজাতভাবে নিরাপদ ছিল।

সুতরাং, এটিই ঘটেছিল। আরোহণের সময় ৭৪৮ এর মাত্র কয়েকটি দুর্ঘটনা ঘটেছিল কারণ ইঞ্জিনগুলির ব্যর্থতার হার ছিল কম। সুতরাং, ৭৪৮ ওড়ানো নিরাপদ ছিল যদিও এটি ব্রিটিশ উড়ানযোগ্যতা সংক্রান্ত বিধিগুলির ছাড়পত্র পায়নি। এই দৃষ্টিভঙ্গি পরীক্ষা করার জন্য আমি স্যার ফ্রেডেরিক টিমসকে (Sir Frederick Tymms) চিঠি লিখেছিলাম, তিনি ছিলেন একজন শ্রদ্ধেয় নেতা যিনি তৎকালীন ব্রিটিশ সিভিল এভিয়েশন অথরিটি (সিএএ) (British Civil Aviation Authority (CAA)) থেকে অবসর নিয়েছিলেন। তিনি আমার সাথে একমত হয়ে আমাকে চিঠি লিখেছিলেন, কিন্তু উল্লেখ করেছিলেন যে ব্রিটিশ সিএএর একমাত্র তখনই কোন কোডের ব্যাখ্যা দেওয়ার এবং নির্দিষ্ট ছাড় দেবার স্বাধীনতা রয়েছে

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

যখন তারা সুনিশ্চিত হন যে বিমানের সামগ্রিক সুরক্ষার সাথে কোন আপস করা হয়নি। তারা কোডটি পরিবর্তন করেননি, কারণ অন্যান্য ইঞ্জিনগুলি তখনও এত নির্ভরযোগ্য ছিল না।

সংক্ষিপ্তসার হিসাবে, সমস্যাটির প্রতি আমার আগ্রহ স্টোকাস্টিক প্রক্রিয়াগুলির আগ্রহের দ্বারা উদ্বুদ্ধ হয়েছিল। সর্বোপরি, টার্বুলেন্স একটি স্টোকাস্টিক প্রক্রিয়া। বোল্টজম্যান সমীকরণের সাথে আমার অভিজ্ঞতা আমাকে মন্টে কার্লো প্রোগ্রামগুলির (Monte Carlo programmes) সাথে পরিচিত করেছিল। সুতরাং, একদিক থেকে সমস্যাটির যেমন ফ্লুইড মেকানিক্সের সাথে কোনও সম্পর্ক ছিল না, তেমনি আবার আমরা ফ্লুইড মেকানিক্সে যে পদ্ধতিগুলি শিখেছি সেগুলি এখানে যথাযথভাবে উড়ানযোগ্যতা দেখার জন্য প্রয়োজনীয় ছিল।

যাই হোক, ধাওয়ান খুশী হয়েছিলেন এবং অন্যরাও মুগ্ধ হয়েছিল। আপত্তি করতে পারে এমন কোনও কিছুই তারা পায়নি, তাই প্রতিবেদনটি পাঠানো হয়। ধাওয়ান সমিতির প্রতিবেদন জমা দেওয়ার পরে, আমরা নথিটি আন্তর্জাতিক বেসামরিক বিমান সংস্থার[10] বুলেটিনকে প্রেরণ করি শুধুমাত্র এটি নিশ্চিত করার জন্য এখানে এই সমস্যাটি সমাধান হওয়ার পর বাইরে থেকে কেউ যেন কোন আপত্তি তুলতে না পারে। তারা সেটি গ্রহণ করেন, এবং কাগজে আমরা কী করেছি তার একটি সংক্ষিপ্ত বিবরণ দিয়েছিলাম। আমি পরে স্টোকাস্টিকের আরও তাত্ত্বিক গণনা নিয়ে লিখেছি।[11]

তত্ত্বের মূল্য নির্ধারণ করতে আমাদের যে বিমানের তথ্য ছিল তা আমি প্রকাশ করতে পারিনি, তবে ভাগ্যক্রমে আমরা উত্তর আটলান্টিকের উপর দিয়ে বিমানের উড়ানের গতিপথ-রক্ষণের ত্রুটি সম্পর্কিত বিস্তৃত পর্যবেক্ষণমূলক তথ্য পেয়েছিলাম। সংঘর্ষ-এড়ানো সম্পর্কিত একটি প্রকল্পের জন্য সেই তথ্য ব্যবহার করা হয়েছিল। গতিপথ-রক্ষণে যখন বিচ্যুতি দেখা যায়, তাকে সঙ্গে সঙ্গে সংশোধন করতে হয়; সুতরাং এটি স্টোকাস্টিক সংশোধন প্রক্রিয়ার আর একটি আকর্ষণীয় উদাহরণ। এখানে পর্যবেক্ষণের সাথে তাত্ত্বিক বিতরণের তুলনা চমৎকার মিল দেখিয়েছিল।

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.

এই দুটি সাক্ষাৎকারে, আমরা বিভিন্ন প্রসঙ্গে টার্বুলেন্স নিয়ে কথা বলেছি। সেই সূত্রে, রিচার্ড ফেইনম্যানের একটি উক্তি রয়েছে: "আমরা যদি একটি তারার বিবর্তন দেখি, এমন একটি সময় আসে যেখানে আমরা অনুমান করতে পারি যে এটি সংশ্লেষ (convection) শুরু করতে চলেছে, কিন্তু তারপরে কী ঘটতে পারে তা আমরা আর অনুমান করতে পারি না। কয়েক লক্ষ বছর পরে তারাটির বিস্ফোরণ ঘটে, কিন্তু এর কারণ আমরা আর খুঁজে বের করতে পারি না"।

আরএন: [হেসে] আমি এটিতে বিশ্বাস করি।

যেমন ফেইনম্যান আরও বলেছিলেন, টার্বুলেন্স হলো ধ্রুপদী পদার্থবিদ্যার শেষ অমীমাংসিত সমস্যা

এই শ্রেণীর সমস্যাগুলিকে কী এতটা কঠিন করে তোলে তা সংক্ষেপে বলবেন?

আরএন: সহজভাবে বলতে গেলে কখন প্রবাহ টার্বুলেন্ট হয়ে যায়, আমরা তা বুঝতে পারি না। এখন, ফেইনম্যান যা বলেছিলেন তা হলো এই যে, যতক্ষণ না টার্বুলেন্স ছবিতে আসেছে, আমরা তারার পদার্থবিজ্ঞানও বুঝতে পারি। মঞ্চে টার্বুলেন্সের প্রবেশের পরে, আমরা এখন পৃথিবীতে যেমন অবস্থায় আছি তেমন অবস্থাতেই ব্যাপারটা থাকবে। কিন্তু একবার সংশ্লেষ টার্বুলেন্ট হয়ে উঠলে, টার্বুলেন্সের মৌলিক সমস্যাগুলি বাধা হয়ে দাঁড়ায়। যেমন ফেইনম্যান আরও বলেছিলেন, টার্বুলেন্স হলো ধ্রুপদী পদার্থবিদ্যার শেষ অমীমাংসিত সমস্যা।

আমাদের সময় দেবার জন্য আপনাকে অনেক ধন্যবাদ। আপনার সাথে আমাদের একটি সুন্দর কথোপকথন হল। ভাবনার তরফ থেকে আজ এই পর্যন্তই। ধন্যবাদ।

আরএন: আপনাকে অনেক ধন্যবাদ, আপনার সাথে কথা বলে আনন্দিত হলাম।

স্বীকৃতিঃ এই সাক্ষাৎকারটির ব্যবস্থা করার জন্য আমরা আইসিটিএসের অনুপম ঘোষকে ধন্যবাদ জানাই।

পাদটীকা

[1] E. Mollo-Christensen and R. Narasimha. 1960. Sound Emission From Jets at High Subsonic Velocities. *Journal of Fluid Mechanics*. **8**(1): 49–60.

[2] R. Narasimha. 1960. Nearly Free Molecular Flow Through an Orifice. *Physics of Fluids*. **3**: 476–477.

[3] R. Narasimha. 1961. Orifice Flow at High Knudsen Numbers. *Journal of Fluid Mechanics*. **10**(3): 371–384.

[4] R. Narasimha. 1962. Collisionless Expansion of Gases into Vacuum. *Journal of Fluid Mechanics*. **12**(2): 294–308.

[5] R. Narasimha. 1961. Some Flow Problems in Rarefied Gas Dynamics. PhD thesis at Caltech. https://thesis.library.caltech.edu/4400/1/Narasimha_r_1961.pdf.

[6] R. Narasimha. 1968. Asymptotic Solutions for the Distribution Function in Non-Equilibrium Flows. Part 1. The Weak Shock. *Journal of Fluid Mechanics*. **34**(1): 1–24.

[7] R. Narasimha and K.R. Sreenivasan. 1973. Relaminarization in Highly Accelerated Turbulent Boundary Layers. *Journal of Fluid Mechanics*. **61**(3): 417–447.

[8] R. Narasimha and K. R. Sreenivasan. 1979. Relaminarization of Fluid Flows. *Advances in Applied Mechanics*. **19**: 221–309.

[9] P. Bauer, A. Thorpe, and G. Brunet. 2015. The Quiet Revolution of Numerical Weather Prediction. *Nature*. **525**: 47–55.

[10] R. Narasimha. 1974. A Statistical Approach to Airworthiness and Flight Safety. *Proceedings of First Seminar on Flight Evaluation*: 80–94.

[11] R. Narasimha. 1975. Performance Reliability of High Maintenance Systems. *Journal of the Franklin Institute*. **303**(1): 15–28.

This article was first published in Bhāvanā, the mathematics magazine, as **Above the Clouds**, Roddam Narasimha in Conversation and is translated and republished here with permission.