GW190412: প্রথম অসম ভরের কৃষ্ণগহ্বর সংযুক্তিকরণের পর্যবেক্ষণ

আমরা কি পেলাম?

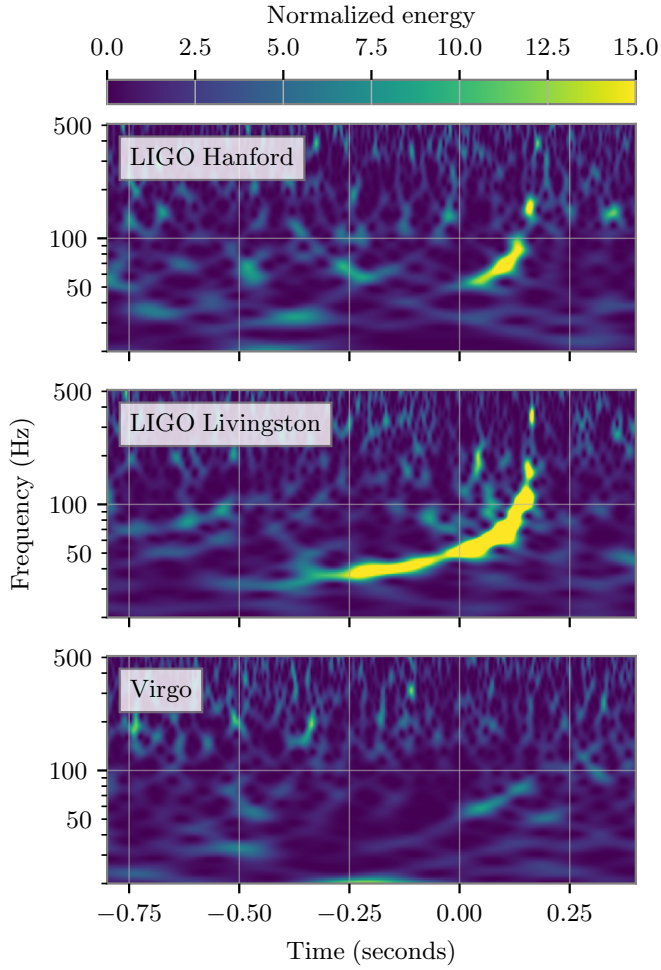
২০১৯ এর ১২ এপরিল লাইগো সাইন্টিফিক কোলাবোরেশন আর ভার্গো কোলাবোরেশন প্রথম পর্যবেক্ষণ করল যে দুটো কৃষ্ণগহ্বর যখন অভ্যন্তরীণ দিক থেকে সংযুক্ত হচ্ছে তখন একটা মহাকর্ষীয় তরঙ্গ সৃষ্টি হচ্ছে। এই সনাক্তকরণের নাম দেওয়া হয় GW190412। লক্ষণীয় ব্যাপার হল যে এই সময় তিনটি ডিটেক্টরই সনাক্তকরণের জন্য প্রস্তুত ছিল (একটি হ্যানফোর্ডে, একটি লিভিংস্টোনে আর একটি ভার্গো ডিটেক্টর যেটা ইতালির ক্যাসসিনাতে অবস্থিত)। অ্যাডভান্সড লাইগো আর ভার্গোর তৃতীয় পর্যবেক্ষণ রান (O3) এর শুরুর দিকে GW190412 সনাক্ত করা হয়েছিল। এই O3 রান ১ এপরিল, ২০১৯ এ শুরু হয় এবং ২৭ মারচ ২০২০ তে স্থগিত করা হয়।

লক্ষ করা গেছে যে কৃষ্ণগহ্বর দুটির ভর পূর্বে পর্যবেক্ষণ করা কৃষ্ণগহ্বর গুলির ভরের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ। এটি একটি অনণ্য দৃষ্টান্ত, এই প্রথম দুটো কৃষ্ণগহ্বর সংযুক্ত হয়েছে যাদের ভর অসম – একটি অন্যটির থেকে ৩ গুন বেশী ভারি। এই ভরের অসামঞ্জস্যতা মহাকর্ষীয় তরঙ্গ সংকেত কে এমন ভাবে পরিবর্তন করে যে আমরা আরো ভাল ভাবে অন্যান্য পরিমিতি যেমন দূরত্ব, সিস্টেমের বাঁক, ভারী কৃষ্ণগহ্বরের ঘূর্ণণ এবং যে পরিমানে সিস্টেমের অয়নচলন, সেগুলো পরিমাপ করতে পারি। এছাড়াও GW190412 এর অসম ভর আমাদের সাহায্য করে আইনস্টাইনের সাধারণ আপেক্ষিকতার তথ্যটি যাচাই করতে: মহাকর্ষীয় তরঙ্গগুলির "গুঞ্জনধ্বনি"র মূল ও উচ্চপ্রাথমিক কম্পাঙ্ক, যাকে বলা হয় *হাইয়ার মালটিপোল*।

আমরা কিভাবে জানতে পারি যে GW190412 সত্যিই একটি মহাকর্ষীয় তরঙ্গ এর সংকেত?

GW190412 হল একটা তীব্র ঘটনা যেটা একে অপরের থেকে হাজার হাজার কিলোমিটার দূরে হওয়া সত্বেও তিনটে ডিটেক্টরেই প্রায় একসাথে ধরা পরেছিলো। তাই আমরা ধরে নিতে পারি যে সত্যি দুটো কৃষ্ণগহ্বর সংযুক্ত হয়ে যে তরঙ্গ সৃষ্টি হয়েছে এটা তারই সংকেত।

GW190412 এর সময়- কম্পাঙ্ক গ্রাফ (স্পেক্ট্রোগ্রাম) দেখানো হয়েছে চিত্র ১ এ। সংকেতটি যদিও হ্যানফোর্ড আর লিভিংস্টোনের ডিটেক্টরে চোখেই দেখা যাচ্ছে, তাও গাণিতিক পরিভাষা ব্যবহার করে সংকেতের তাৎপর্য বিশ্লেষণ করা হয়েছে। বেশীর ভাগ বিশ্লেষণের পদ্ধতিই *ম্যাচ ফিলটারিং* এর ওপর নির্ভর করে। ম্যাচ ফিলটারিং দিয়ে পর্যবেক্ষণ করে পাওয়া তথ্য আর সাধারণ আপেক্ষিকতা থেকে পাওয়া কৃত্রিম তথ্যের তুলনা করা হয়। আমরা ডিটেক্টরে যে সংকেতটি দেখছি সেটা অপ্রীতিকর সংকেত হওয়ার পরিমাণ নির্ণায়ককে বলে *ফল্স আলার্ম রেট (এফ. এ. আর.)*। ৮ এপরিল থেকে ১৮ এপরিল এর তথ্য অনুযাই যে এফ. এ. আর. পাওয়া গেছে সেটা ৩০,০০০ বছরে ১টা ঘটনা। এই এফ. এ. আর. আরো তাৎপর্যপূর্ণ হবে যখন আরো বেশী O3 তথ্য বিশ্লেষণ করা হবে। পরিবেশগত এবং যান্ত্রিক সংকেতের প্রভাব GW190412 ওপর হয়েছে কিনা তাও দেখা হয়েছে। কিন্তু কোনো তাৎপর্যপূর্ণ প্রভাব পাওয়া যায় নি।



চিত্র ১: *তিনটি মহাকর্ষীয় তরঙ্গ আবিষ্কারক যন্ত্রে পাওয়া মহাকর্ষীয় তরঙ্গের সংকেতের বর্ণালি চিত্রলেখা। অনুভূমিক অক্ষে সময় দেখানো হয়েছে আর উলম্বরেখা সংকেতের কম্পাঙ্ক দেখাচ্ছে। একটা নির্দিষ্ট সময় একটা নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের শক্তির পরিমান ওপরের চিত্রে রং দিয়ে বোঝানো হয়েছে। "চার্প" থেকে বোঝা যাচ্ছে যে সময়ের সাথে কৃষ্ণগহ্বর দুটি যত কাছাকাছি আসছে সংযুক্তিকরণের জন্য ততই সংকেতের কম্পাঙ্ক ও শক্তি বৃদ্ধি হচ্ছে।*

আমাদের ওয়েবসাইট:

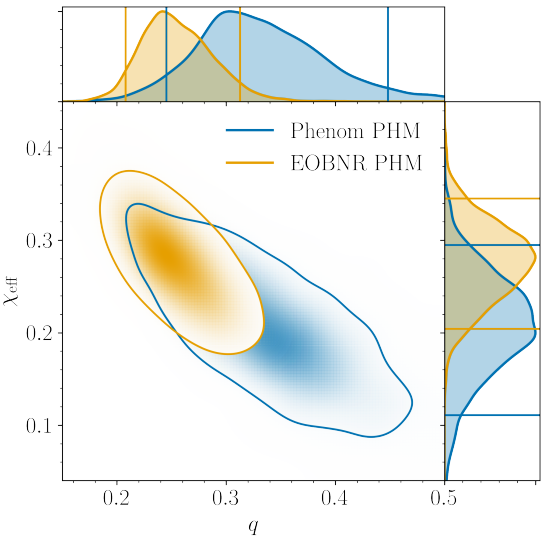
http://www.ligo.org

http://www.virgo-gw.eu

GW190412 এর বৈশিষ্ট্য

GW190412 এর দুটি কৃষ্ণগহ্বরের পৃথক ভর, পূর্বে লক্ষ্য করা কৃষ্ণগহ্বরের ভরের সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ – একটি কৃষ্ণগহ্বরের ভর সূর্যের ভরের প্রায়ে ৩০ গুণ এবং অন্যটি প্রায়ে ৮ গুণ। তবে GW190412 তে যে দুটো কৃষ্ণগহ্বর সংযুক্ত হয়েছিল তাদের ভর অনুপাত, *মাস রেশিও* (হাল্কা কৃষ্ণগহ্বর ও ভারি কৃষ্ণগহ্বরের ভর অনুপাত) পূর্বে আমরা যা সংযুক্তিকরণ লক্ষ্য করেছি তার থেকে আলাদা। প্রথম দুটী পর্যবেক্ষণ রান থেকে যে ১০টি কৃষ্ণগহ্বর সংযুক্তিকরণ পর্যবেক্ষণ করা হয়েছিল তাতে দুটি কৃষ্ণগহ্বরের ভর সমান ছিল। কিন্তু GW190412 তে একটি কৃষ্ণগহ্বরের ভর অন্যটির তিন গুণ। সেই দিক থেকে GW190412 অনন্য।

এই অসম ভরের জন্য মহাকর্ষীয় তরঙ্গের নিঃসরণে যে সামঞ্জস্যহীনতা দেখা যাচ্ছে সেটা আমাদের সাহায্য করে সিস্টেমের বিশেষ পরিমিতি অনুমান করতে। আমরা লক্ষ্য করেছি যে একটি কৃষ্ণগহ্বরের কার্যকরী ঘূর্ণণ, *এফেক্টীভ স্পিন*, ইতিবাচক যা থেকে বোঝা যায় যে কমপক্ষে একটি কৃষ্ণগহ্বর এমন একটা বাঁকে ঘুরছে যেটা দুটো কৃষ্ণগহ্বরের নিজেদের কক্ষপথের কাছাকাছি। উল্লেখযোগ্য যে, আমরা প্রথমবার GW190412 এর অসম ভরের জন্য বড় কৃষ্ণগহ্বরের ঘূর্ণণে একটা প্রতিবন্ধকতা আনতে পারি, যেটা লক্ষ্য করা হয়েছে যে সাধারণ আপেক্ষিকতা দ্বারা অনুমোদিত সর্বোচ্চ ঘূর্ণণের ৪০% এ ঘুরছে। GW190412 এর কার্যকরী ঘূর্ণণ এবং ভর অনুপাত চিত্র ২ এ দেখানো হয়েছে। আমরা আরো কিছু প্রান্তীয় সংকেত লক্ষ্য করি যাতে বোঝা যায় যে সিস্টেমটি অয়নচলন করছে, যদিও এর প্রভাব যথেষ্ট নয় যে এই সিদ্ধান্তে আসা যায়। এছাড়াও দূরত্ব ও সিস্টেমের বাঁকের অস্পষ্টতাও এই অসম ভর অনেকটা ছিন্ন করে। এই জন্য এই দুই পরিমিতির আরো ভালো পরিমাপ করা যায়। GW190412 এর সংযুক্তিকরণ ঘটেছিল পৃথিবী থেকে প্রায় ২.৫ লক্ষ কোটি আলোকবর্ষ দূরে।



চিত্র ২: *GW190412 এর অনুমিত ভর অনুপাত (q) আর কার্যকরী ঘূর্ণণ ($\chi_{\rm eff}$) দেখানো হয়েছে। এই দুটো পরিমিতির বিন্যাস দেখানো হয়েছে কমলা ও নীল রঙের সীমাসূচক রেখার সাহায্যে। এই দুটো পরিমিতি দুটো তরঙ্গরূপের মডেল দিয়ে উদ্ধার করা হয়েছে। এই দুটো তরঙ্গরূপ মডেল একটু আলাদা ভাবে সাধারণ আপেক্ষিক সংকেতের অনুমান করে।*

উচ্চতর সুরবিজ্ঞানের গুঞ্জনধ্বনি

GW190412 এর অনন্য বৈশিষ্টগুলির জন্য মহাকর্ষীয় তরঙ্গের একটি মৌলিক বৈশিষট্য লক্ষ্য করা যায়। আইনস্টাইনের প্রথম তত্ব যেটা পরবর্তীকালে নিউম্যান, পেনরোজ, থর্ন এবং আরো অনেকে সংশোধন করেছে, তাদের মতে নিশ্ছিদ্র যুগ্ম গুলি থেকে যে মহাকর্ষীয় তরঙ্গ উৎপন্ন হয় সেটি মুলতঃ কোয়াড্রুপোলার|এটাকে এমন ভাবে ভাবা যেতে পারে যে গিটারের একটা তার বাজালে যে মূল স্বর উৎপন্ন হয় এই বিকিরণটি ঠিক সেই রকম। এই মহাকর্ষীয় বিকিরণটি আবার বাদ্যযন্ত্রেরই মত মূল স্বরের থেকে উচ্চতর স্বরে শোনা যেতে পারে। এই উচ্চতর স্বরগুলিকে মূল স্বর থেকে আলাদা করা কঠিণ যখন কৃষ্ণগহ্বর দুটির ভর মোটামুটি সমান হয়। কিন্তু GW190412 তে কৃষ্ণগহ্বর দুটির ভর অসম তাই এই উচ্চতর স্বরগুলির সুক্ষ্ম সংকেতগুলিও শোনা যায়। আমরা যে তথ্য পেয়েছি সেটাও এই অনুমানটিকে ১০০০:১ গুণের বেশী সমর্থন করে। ভবিষ্যতে উচ্চতর স্বরগুলির তুলোনামূলক তীব্রতা কৃষ্ণগহ্বরগুলির সমবেত হওয়ার বৈশিষ্টগুলিকে আরো ভাল ভাবে আলাদা করতে সাহায্য করতে পারে। GW190412 সাধারণ আপেক্ষিকতার সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ কিনা তা নির্ধারণ করার জন্য কয়েকটি পরীক্ষাও করা হয়েছে। তাতে সাধারণ আপেক্ষিকতার সাথে কোন অসংগতি ধরা পড়ে নি। এটাও আইনস্টাইনের মাধ্যাকর্ষণের তত্বকে সমর্থন করে।

অসম ভরের যুগ্ম কৃষ্ণগহ্বরের গঠন

অ্যাডভান্সড লাইগো আর ভার্গোর যৌথসম্প্রচার ব্যবস্থার প্রতিটি পর্যবেক্ষণ নিবিড় যুগ্ম গুলির মধ্যে নতুন ও উত্তেজনাপুর্ণ অন্তদৃষ্টি এনেছে। GW190412 সর্বপ্রথম আমাদের মহাকাশে অসম ভরের কৃষ্ণগহ্বরের সমষ্টির তথ্য দিয়েছে। GW190412 এর এই একক পর্যবেক্ষণ থেকে আমরা এটাও জানতে পারি যে অসম ভরের কৃষ্ণগহ্বর যুগ্মগুলি বিরল নয়। পরবর্তীকালে আমরা এরম যুগ্মগুলি আরো দেখতে পাবো।

জ্যোতির্বিদরা নাক্ষত্রিক বিবর্তনের বিস্তারিত পদার্থ বিজ্ঞানের ভিত্তিতে মহাবিশ্বে কিভাব যুগ্ম কৃষ্ণগহ্বর সৃষ্টি হয় তার মডেলগুলি বানিয়েছেন এবং তাদের প্রত্যাশিত ভর ও অন্যান্য বৈশিষ্টগুলিও দেখিয়েছেন। যদিও বেশীরভাগ মডেলই বলে যে সমান ভরের কাছাকাছি যুগ্ম কৃষ্ণগহ্বরগুলিই বেশী দেখা উচিত, অনেকে এটাও বলে যে GW190412 এর মত অসম ভরের যুগ্ম কৃষ্ণগহ্বর যথেষ্ট সংখ্যায় আছে। তবে অসম ভরের যুগ্ম কৃষ্ণগহ্বর তৈরী হবে সম ভরের যুগ্ম কৃষ্ণগহ্বরগলির চেয়ে ১০ গুন কম। GW190412 মত চরম ভর অনুপাতের পর্যবেক্ষণও দৃশ্যতঃ অপ্রত্যাশিত নয় যদিও এখনও পর্যন্ত ১০ এরও বেশী এরম ঘটনা সনাক্ত করা হয়েছে। এই বিস্তীর্ণ মহাকর্ষীয় তরঙ্গের প্রতি আমাদের সেন্সিটিভিটি যত বাড়বে এবং যত তাড়াতাড়ি আমরা নিশ্ছিদ্র যুগ্ম নক্ষত্র সংযুক্তিকরণের তালিকা তৈরী করতে পারবো, ততই আমরা এইরকম আরো অনেক সিস্টেম পর্যবেক্ষণের আশা করতে পারবো। এর ফলে আমাদের নাক্ষত্রিক বিবর্তন, নক্ষত্রের যুগ্ম সংযুক্তিকরণ এবং মৌলিক পদার্থ বিজ্ঞানের দৃশ্টিভঙ্গী প্রসারিত হবে।

GLOSSARY

কৃষ্ণগহ্বর : একটি নিশ্ছিদ্র বস্তু যার মাধ্যাকর্ষণ টান এত বেশী যে কোন কিছুকেই ভিতর থেকে বের হতে দেয় না এমন কি আলোক রশ্মিকেও না

নিশ্ছিদ্র যুগ্ম : দুটি ঘন সন্নিবিষ্ট নাক্ষত্রিক অবশিষ্টাংশ যেমন নিউট্রন নক্ষত্র বা কৃষ্ণগহ্বর।

কার্যকরী ঘূর্ণণ : সর্বশ্রেষ্ঠ-পরিমিত পরিমিতি ঘূর্ণণ তথ্য যেটা মহাকর্ষীয় তরঙ্গে সঙ্কেতাক্ষরিত থাকে। রীত্যানুসারে এটা বিশিষ্ট কৃষ্ণগহ্বরের ঘূর্ণণের ভর-ওজনযুক্ত অভিক্ষেপটি দুটি কৃষ্ণগহ্বরের কক্ষপথের দিকে চিহ্নিত করে।

সাধারণ আপেক্ষিকতা : আইনস্টাইন এই মাধ্যাকর্ষণের তত্ব ১৯১৫ এ উত্থাপন করেন। মহাকাশ(স্পেইস) একটি কাপড়ের ন্যায় বস্তু ও শক্তির উপস্থিতিতে প্রণত হয় আর বস্তু এই বক্র মহাকাশে এক নির্দিষ্ট আবক্র পথ ধরে চলে।

হাইয়ার মালটিপোল : মহাকর্ষীয় তরঙ্গ থেকে যে নিঃসরণ হয় তাকে আমরা প্রসারিত 'স্ফেরিকাল হারমোনিক্স' দিয়ে বর্ণনা করে থাকি। হাইয়ার মালটিপোল এই প্রসারিত বর্ণনার মূল স্বরের থেকে উচ্চতর স্বর।

বাঁক : পৃথীবির তুলোনায় কৃষ্ণগহ্বরের কক্ষপথের বাঁক।

ম্যাচ ফিলটারিং : এই প্রযুক্ত দিয়ে অপ্রীতিকর সংকেতে লুকিয়ে থাকা সংকেত সনাক্ত করা যায়। মহাকর্ষীয় তরঙ্গের মাপনদণ্ড নিয়ামক গণনা করা হয় সাধারণ আপেক্ষিকতার সাহায্যে। এই মাপনদণ্ড নিয়ামক দিয়ে তথ্যকে পরীক্ষা করা হয়। যদি এই দুটোর রেখাচিত্র মিলে যায় তখন সেটা 'বেজে ওঠে'।

অয়নচলন : কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণের জন্য, যখন যুগ্ম কৃষ্ণগহ্বরের ঘূর্ণণ তাদের কক্ষপথের দিক থেকে আলাদা হয়, তখন কক্ষপথের সমতলও আবর্তিত হবে('অয়নচলন') ওই যুগ্ম কৃষ্ণগহ্বরের সর্বাত্মক কৌণিক ভরবেগের চারিপাশে।

কোয়াড্রুপোল: যুগ্ম কৃষ্ণগহ্বর থেকে যে মহাকর্ষীয় তরঙ্গ নিঃসরণ হয় তার সর্বশক্তিশালী স্বর হল কোয়াড্রুপোল। আমরা যদি এই তরঙ্গগুলিকে 'মহাকাশ-সময় শব্দ' ভাবি, তাহলে কোয়াড্রুপোল নিঃসরণকে মূল স্বর হিসেবে ভাবা যেতে পারে। যেমন রেডিও অ্যান্টেনার মূল নিঃসরণকে 'ডাইপোল' বলা হয়, এর সাথে তুলনা করে বলতে পারা যায় যে কোয়াড্রুপোল নিঃসরণ চারিদিকে হয়।

স্পেক্টোগ্রাম : সময়-ক্রমাঙ্ক তথ্যর প্রতিনীধি হল সময়-কম্পাঙ্ক-শক্তি। এক-একটা কম্পাঙ্কের প্রবলতা বোঝানো হয়েছে রঙের সাহায্যে।

তরঙ্গরূপের মডেল : আইনস্টাইনের সাধারণ আপেক্ষিকতার সাহায্যে তত্বীয় মহাকর্ষীয় তরঙ্গের সংকেত তৈরী করা হয়েছে ।