# GW231123: মহাকর্ষীয় তরঙ্গের মাধ্যমে শনাক্ত সর্ববৃহৎ কৃষ্ণ গহ্বর যুগল !

২৩শে নভেম্বর, ২০২৩ তারিখে, ১৩:৫৪:৩০ UTC-তে, LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) সংগঠন একটি মহাকর্ষীয় তরঙ্গ সংকেত GW২৩১১২৩ শনাক্ত করে, যা দুটি কৃষ্ণ গহ্বর এর একত্রীকরণ এর ফলে সৃষ্ট হয়েছে| এই কৃষ্ণগহ্বরদুটির সম্মিলিত ভর (total mass) LVK সংগঠন-দ্বারা আজ অবধি যে কয়েকটি কৃষ্ণগহ্বর শনাক্ত হয়েছে, তাদের মধ্যে সম্ভবত সর্বোচ্চ। প্রবল বেগে ঘূর্ণায়মান এই কৃষ্ণ গহ্বর দুটির পৃথক ভরগুলি (individual masses) এমন একটি পরিসরে পড়ে, যা বৃহদাকার নক্ষত্রের বিবর্তন (stellar evolution) সম্পর্কে বিদ্যমান তত্ত্বগুলিকে চ্যালেঞ্জ করে।

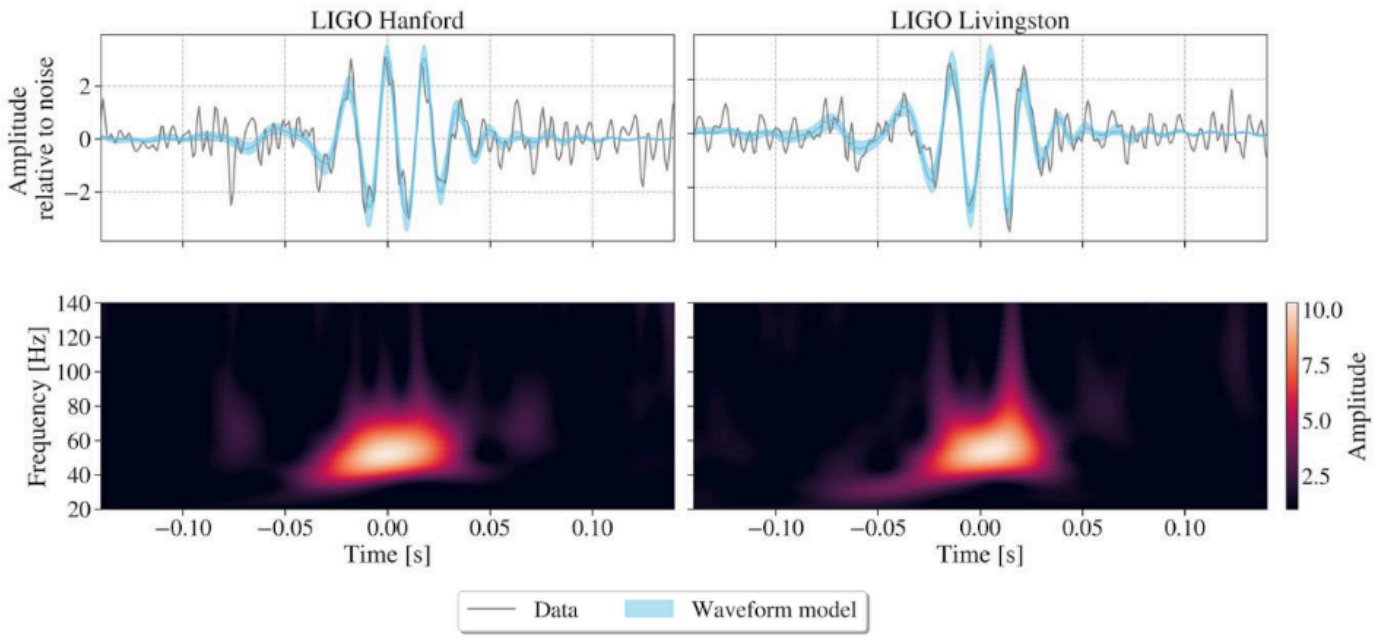
## কীভাবে হল এই সংকেতের শনাক্তকরণ ?

চতুর্থ LVK পর্যবেক্ষণ রান (4th observation run) - এর প্রথম অংশে মার্কিন যুক্তরাষ্ট্রের হ্যানফোর্ড (Hanford) এবং লিভিংস্টনে (Livingston) - এই দুটি শহরে থাকা দুটি অত্যাধুনিক LIGO পর্যবেক্ষণাগার, এই মহাকর্ষীয় তরঙ্গ সংকেতটিকে শনাক্ত করে।
চিত্র ১-এ দেখানো হয়েছে, এই মহাকর্ষীয় তরঙ্গ সংকেতটি, যা প্রায় এক দশমাংশ সেকেন্ডের জন্য স্থায়ী হয়েছিল কীভাবে পর্যবেক্ষণাগারদুটিতে স্পষ্টভাবে ফুটে উঠেছিল। এই সংকেতটি পর্যবেক্ষণাগার এর শব্দের চেয়ে প্রায় ২০ গুণ বেশি তীব্র। এর উৎপত্তিস্থল সত্যিই মহাকাশ কিনা, তা নিশ্চিত করার জন্য, আমরা বেশ কিছু পরিসংখ্যানগত পরীক্ষা (statistical tests) করেছি। অনেক সময় দেখা যায় যে যন্ত্রের পারিপার্শ্বিক শব্দ (environmental noise), যা খানিকটা একটা প্রকৃত সংকেতকে অনুকরণ করে, তা সংকেত শনাক্তকরণের পথে বাধা হয়ে দাঁড়ায়| তবে আমরা দেখেছি যে GW২৩১১২৩ অনুকরণকারী স্থলজ শব্দের (terrestrial noise) সম্ভাবনা ১০,০০০ বছরে একবারেরও কম! সুতরাং, এই সংকেতটি যে সত্যিই মহাকাশ থেকে এসেছে, সে বিষয়ে আমরা নিশ্চিত।

## সংকেতের উৎপত্তি হল কোথা থেকে ?

পর্যবেক্ষণাগার হতে প্রাপ্ত তথ্য থেকে দৃঢ়ভাবে বোঝা যায় যে, এই সংকেতটি দুটি কৃষ্ণগহ্বরের একত্রীকরণের ফলে উৎপন্ন হয়েছে। এই কৃষ্ণগহ্বরগুলি সম্পর্কে আরও জানতে - যেমন তারা কতটা বিশাল ছিল এবং কত দ্রুত তারা ঘুরছিল - আমরা আইনস্টাইনের সাধারণ আপেক্ষিকতাবাদ তত্ত্বের উপর ভিত্তি করে বেশ কয়েকটি মডেল ব্যবহার করেছি। বিভিন্ন ধরনের কৃষ্ণগহ্বর যুগলের জন্য, এই মহাকর্ষীয় তরঙ্গ সংকেত কেমন দেখাবে তা জানতে আমরা এই মডেল গুলি ব্যবহার করে থাকি। এই মডেলগুলির সঙ্গে তথ্য তুলনা করে আমরা এই সিদ্ধান্তে উপনীত হই যে এই কৃষ্ণগহ্বর দুটির ভর সূর্যের ভরের প্রায় ১৩৭ এবং ১০৩ গুণ। সমস্ত অনিশ্চয়তাকে একত্র করলে, এদের মোট ভর সম্ভবত ১৯০ থেকে ২৬৫ সৌর ভরের মধ্যে রয়েছে| আজ পর্যন্ত পরিলক্ষিত সর্ববৃহৎ কৃষ্ণগহ্বর যুগল হিসেবে GW১৯০৫২১ যে স্থান অধিকার করে রেখেছিল, GW২৩১১২৩ এসে যেন GW১৯০৫২১-এর স্থান কেড়ে নিল ! GW২৩১১২৩ কেবল সর্ববৃহৎ নয়, সবচেয়ে দ্রুততম ঘূর্ণায়মান কৃষ্ণগহ্বর যুগলও বটে।

এই সংযোজনের ফলে যে নতুন কৃষ্ণগহ্বরটি তৈরি হয় তার ভর সম্ভবত ১৮২ থেকে ২৫১ সৌর ভরের মধ্যে। এটি এটিকে অন্তর্বর্তী ভরের কৃষ্ণগহ্বর যা কৃষ্ণগহ্বরের একটি বিরল শ্রেণীতে পড়ে — এটি নক্ষত্রের পতনের ফলে তৈরি কৃষ্ণগহ্বরের চেয়ে ভারী, কিন্তু ছায়াপথের কেন্দ্রে লুকিয়ে থাকা অতিবৃহৎ কৃষ্ণগহ্বরের চেয়ে অনেক হালকা। GW২৩১১২৩ এবং GW১৯০৫২১ সংকেটদুটি কৃষ্ণগহ্বরের একীভূতকরণের ফলে সৃষ্ট এই অধরা, মাঝারি আকারের কৃষ্ণগহ্বরগুলির অস্তিত্বের স্পষ্ট প্রমাণ বহন করে।




চিত্র ১: LIGO হ্যানফোর্ড (বামদিকে) এবং লিভিংস্টন (ডানদিকে) ডিটেক্টর থেকে পাওয়া GW২৩১১২৩ সংকেত। ওপরের প্যানেল দুটি সময়ের সাথে তথ্যের প্রশস্ততা (ধূসর চিহ্ন) নির্দেশ করে। ছায়াযুক্ত নীল স্তরটি প্রকৃত সংকেতের প্রতি আমাদের অনুমান সূচিত করে। নীচের প্যানেল দুটি সংকেতটির সময়-কম্পাঙ্ক মানচিত্র দেখিয়েছে, যা সংকেতের প্রশস্ততা দেখায় সময় অক্ষে (অনুভূমিক অক্ষ) এবং কম্পাঙ্ক অক্ষে (উল্লম্ব অক্ষ)। উজ্জ্বল রঙগুলি একটি শক্তিশালী সংকেতকে প্রতিনিধিত্ব করে।

## সংকেতের বৈশিষ্ট্যগুলি কেন গুরুত্বপূর্ণ ?

বর্তমান নক্ষত্রীয় বিবর্তন (stellar evolution) তত্ত্বগুলি বলে যে প্রায় ৬০ থেকে ১৩০ সৌর ভরের মধ্যে কৃষ্ণগহ্বর থাকতে পারে না | এই "নিষিদ্ধ" ভর পরিসর (forbidden mass range) কৃষ্ণগহ্বরের ভর ব্যবধান (mass gap) নামে পরিচিত | মনে করা হয়
বিশেষ ধরণের বিস্ফোরণের ফলে হয় ভারী নক্ষত্রগুলি সম্পূর্ণরূপে ছিন্নভিন্ন হয়ে যায় (জোড়া-অস্থিরতা সুপারনোভা) অথবা ধসে পড়ার আগে তাদের ভরের একটি উল্লেখযোগ্য অংশ নিক্ষেপ করে দেয় (স্পন্দনশীল জোড়া-অস্থিরতা সুপারনোভা) | এর ফলে কৃষ্ণগহ্বর ৬০ থেকে ১৩০ সৌর ভরের মধ্যে গঠিত হয় না। GW২৩১১২৩ এই তত্ত্বকে চ্যালেঞ্জ করে। এর কৃষ্ণগহ্বরদুটির মধ্যে যেটি ছোট, সেটির ভর ব্যবধানের মধ্যে পড়ার সম্ভাবনা ৮৩%, এবং ভারী কৃষ্ণগহ্বরটির সম্ভাবনা ২৬%। এর থেকে বোঝা যায় যে প্রচলিত নক্ষত্র বিবর্তনের তত্ত্ব এই কৃষ্ণগহ্বরদুটির উৎপত্তি সম্পূর্ণরূপে ব্যাখ্যা করতে পারে না।

একটি চমকপ্রদ সম্ভাবনা হল যে, এই কৃষ্ণগহ্বরগুলির একটি বা উভয়ই পূর্ববর্তী কৃষ্ণগহ্বরের একত্রীকরণের ফলে তৈরি হয়ে থাকতে পারে। সেক্ষেত্রে, এই কৃষ্ণগহ্বরগুলির ভর এবং ঘূর্ণন এত বেশি কেন তার একটা ব্যাখ্যা পাওয়া যায়। এও মনে করা হয় যে এই কৃষ্ণগহ্বরযুগল একটি অত্যন্ত জ্যোতির্বিদ্যাগত ঘন পরিবেশে বাস করত, যেমন একটি নাক্ষত্রিক পুঞ্জ বা একটি সক্রিয় ছায়াপথের কেন্দ্রস্থল, যেখানে কৃষ্ণগহ্বরগুলির সংঘর্ষের সম্ভাবনা বেশি। এইরূপ ঘন পরিবেশ কৃষ্ণগহ্বরগুলিকে আরও দীর্ঘায়িত, উপকেন্দ্রিক পথে একে অপরের প্রদক্ষিণ করতে পরিচালিত করতে পারে। যাইহোক, তাদের জটিলতা সীমিত করার জন্য, আমাদের মডেলগুলি বর্তমানে ধরে নিয়েছে যে কৃষ্ণগহ্বরগুলি প্রায় গোলাকার কক্ষপথে ভিতরের দিকে সর্পিল (spiral inwards) করেছে এবং মহাকর্ষীয় তরঙ্গ নির্গত করার সঙ্গে ধীরে ধীরে এর পরিধি সঙ্কুচিত হয়েছে। যদি কক্ষপথগুলি অত্যন্ত উপকেন্দ্রিক (eccentric) হয়, বিশেষ করে একত্রিত হওয়ার ঠিক পূর্ব মুহূর্তে, তবে তা নির্গত তরঙ্গরূপগুলিকে এমনভাবে প্রভাবিত করতে পারে যা আমরা এখনও উপলব্ধি করতে পারিনা। ভবিষ্যতে উপকেন্দ্রিক কক্ষপথের এই প্রভাব গুলিকে নিয়ে সংযোজিত, উন্নত মডেল পরীক্ষা করতে আমরা GW২৩১১২৩ কে ব্যবহার করতে পারি।

যেসব বিকল্প পরিস্থিতি এই ধরণের সংকেত তৈরি করতে পারে, যেমন মহাকর্ষীয় লেন্সিং, আদিম কৃষ্ণগহ্বর, কেন্দ্র-ধসে যাওয়া সুপারনোভা, বোসন তারকা একত্রীকরণ এবং মহাজাগতিক স্ট্রিং, সেগুলো উপরে আলোচিত পরিস্থিতির তুলনায় জ্যোতির্বিজ্ঞানের দিক থেকে অনেকটাই কম সম্ভাবনাময়।

## একীভূতকরণের শেষ মুহূর্ত

LVK-র পর্যবেক্ষণ করা বেশিরভাগ কৃষ্ণগহ্বরের মিলনের ক্ষেত্রে (আজ অবধি প্রায় 300টি) ডিটেক্টরগুলি সংকেতের একত্রীকরণের পূর্ববর্তী অংশগুলির প্রতি সবচেয়ে সংবেদনশীল, যখন কৃষ্ণগহ্বরযুগল একে অপরের চারপাশে সর্পিলভাবে আবর্তন করে এবং অবশেষে একীভূত হয়। তবে এর বিশাল ভরের কারণে, GW২৩১১২৩ আমাদের এর গ্র্যান্ড ফিনালের সবচেয়ে স্পষ্ট দৃশ্য প্রদান করেছে: একীভূতকরণ এবং রিংডাউন পর্যায়, যখন নবগঠিত কৃষ্ণগহ্বর মহাকর্ষীয় তরঙ্গের মাধ্যমে শক্তি বিকিরণ করে, কম্পিত হয় এবং অবশেষে একটি স্থিতিশীল অবস্থা লাভ করে, অনেকটা ঘন্টা বাজতে বাজতে নীরব হয়ে যাওয়ার মতো।

আমরা সংকেতের এই শেষ অংশটিকে অধ্যয়ন করে  একটি কৃষ্ণগহ্বর কীভাবে কম্পিত হয় তার সাধারণ আপেক্ষিকতার পূর্বাভাসের সঙ্গে তুলনা করে তত্ত্ব এবং তথ্যের মধ্যে দৃঢ় মিল খুঁজে পেয়েছি। তবুও, কিছু সূক্ষ্ম বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যাতীত থেকে যায়।

কয়েক বছর আগে, GW১৯০৫২১ এর সারাংশে আমরা বলেছিলাম যে রেকর্ড ভাঙার জন্যই তৈরি হয়|, এবং GW২৩১১২৩ ঠিক তাই করেছে। ভর ব্যবধানে কৃষ্ণগহ্বর এবং তাত্ত্বিক সীমার কাছাকাছি ঘূর্ণন অন্তর্ভুক্ত থাকতে পারে এমন বৈশিষ্ট্যগুলির জন্য এই ঘটনাটি একই সঙ্গে অসাধারণ এবং বিভ্রান্তিকর। এটি আমাদের প্রচলিত নক্ষত্রের বিবর্তনের বাইরে কৃষ্ণগহ্বর গঠনের বিকল্প পথগুলি অন্বেষণ করতে বাধ্য করে এবং আমাদের বর্তমান মডেলের সীমাবদ্ধতাগুলির ওপর আলোকপাত করে। আমরা যখন মহাকর্ষীয় তরঙ্গের মাধ্যমে মহাবিশ্বের কথা শুনতে থাকি, তখন GW২৩১১২৩ এর মতো ঘটনাগুলি আমাদের বারংবার মনে করিয়ে দেয় যে মহাকাশ এখনও অনেক বিস্ময় ধারণ করে, এবং আমরা সেগুলি উন্মোচন করতে সবেমাত্র শুরু করছি।

## আরও জানতে চান ?

Gravitational-Wave Open Science Centre থেকে GW২৩১১২৩ এর তথ্য পেতে এখানে যান।

নীচের QR-কোড স্ক্যান করুন এবং জেনে নিন আপনার পছন্দের পর্যবেক্ষণাগারটির সম্বন্ধে!

https://ligo.org/

https://www.virgo-gw.eu/

https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/