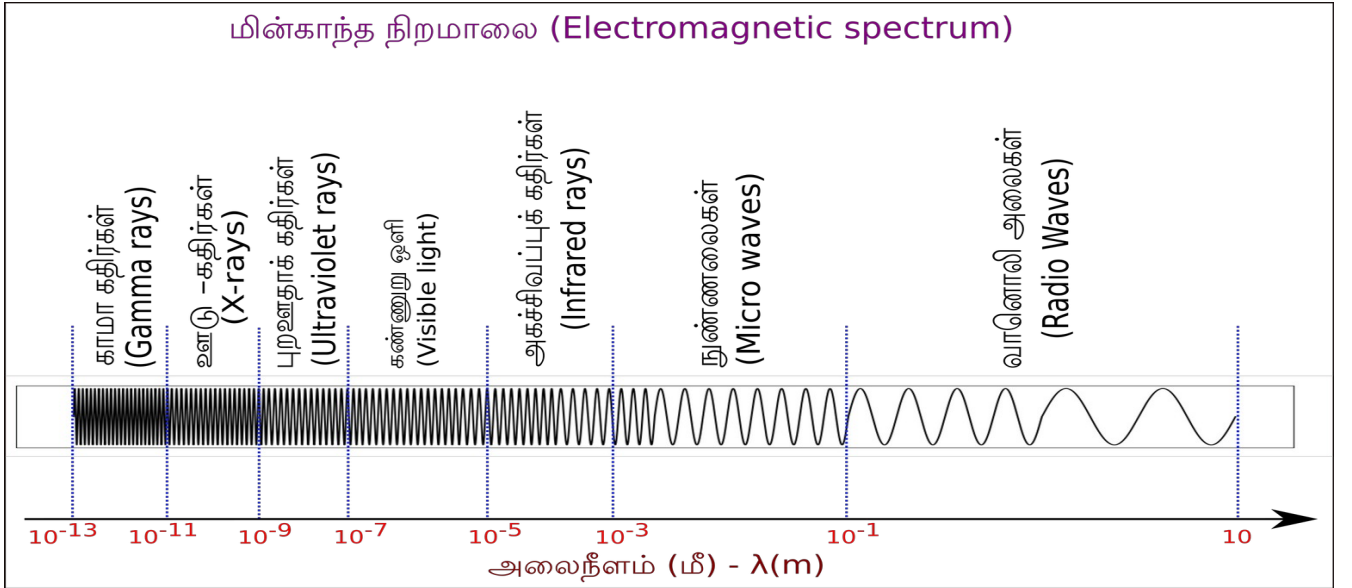


## ஈர்ப்பு அலை

### பகுதி-1

அறிவியல் கட்டுரை - தமிழ் வாசகர்களுக்கு. இந்தக் கட்டுரையில் ஆங்கில அறிவியல் சொற்கள் முடிந்தவரை தவிர்க்கப்பட்டுள்ளன. சொற்களஞ்சியம்: பக்கம் 7

2015 ஆம் ஆண்டு இயற்பியலில் மிக முக்கியமான ஆண்டாகும், ஐன்ஸ்டீனின் பொது சார்பியல் (General Relativity) கோட்பாட்டின் ஈர்ப்பு அலையின் (Gravitational-waves) கணிப்பை உறுதிப்படுத்திய ஆண்டாகும். இயற்பியலில் அலைகளை இரண்டு விதமாக பிரிக்கலாம். பொறிமுறை அலைகள் (Mechanical Waves) பொறிமுறை இல்லா அலைகள் (Non-Mechanical Waves) என இருவகைப்படும். பொறிமுறை அலைகள் கடந்துசெல்ல ஊடகம் தேவை, உதாரணம் ஒலி அலைகள். பொறிமுறை இல்லா அலைகளுக்கு ஊடகம் தேவை இல்லை. ஈர்ப்பு அலை, மின்காந்த அலை (Electromagnetic Waves) பொறிமுறை இல்லா அலைகள் வகையைச் சேர்ந்தது. மின்காந்த அலையை அதிர்வெண் (frequency) அல்லது அலைநீளம் (Wavelength) கொண்டு பல வேறாக வகைப்படுத்தலாம். அவ்வாறு வகைப்படுத்தும் மின்காந்த அலைகள் வெவ்வேறு தன்மைகளை கொண்டிருக்கும். காமா கதிர், ஊடு கதிர், புற ஊதா கதிர், கண்ணுறு ஒளி, அக சிவப்பு கதிர், நுண்ணலைகள் அலைகள், வானொலி அலைகள் இவையனைத்தும் மின்காந்த அலைகள் வகையைச் சார்ந்தது (படம் 1).



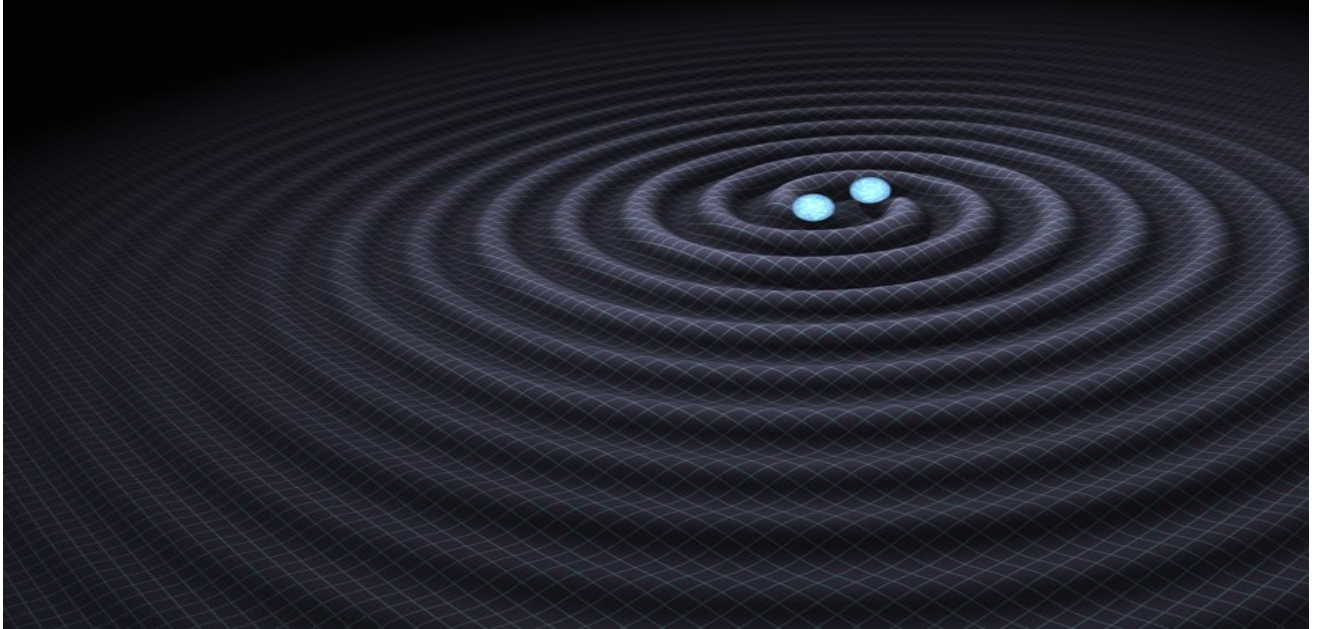
**படம் 1:** மின்காந்த நிறமாலையில் உள்ள மின்காந்த அலை வகைகள்.

ஈர்ப்பு அலை என்பது வெளிநேர (Space-Time) அலைகளாகும், இவை இருப்பதற்கான முதல் மறைமுக சான்றுகள் ஹல்ஸ்-டெய்லர் இரும-துடிவிண்மீன் (Binary Pulsar) கவனிக்கப்பட்ட சுற்றுப்பாதை சிதைவிலிருந்து

வந்தது. ஈர்ப்பு அலை கதிர்வீச்சினால் ஆற்றல் (Energy) இழக்கப்படுவதால் பொது சார்பியலால் கணிக்கப்பட்ட வெளிநேர சிதைவை ஒத்துப் போகிறது. இந்த கண்டுபிடிப்புக்காக 1993 ஆம் இயற்பியலுக்கான நோபல் பரிசு, ரஸ்ஸல் ஏ. ஹல்ஸ் மற்றும் ஜோசப் ஹல்டன் டெய்லர் ஜூனியர் ஆகியோருக்கு வழங்கப்பட்டது.

### **முதல் நேரடி கண்டறிதல்:**

14 செப்டம்பர் 2015 ஆம் ஆண்டு முதன்முதலில் ஈர்ப்பு அலையை நேரடியாக லைகோ ஆய்வகம் ஆய்வகம் மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இவை இரண்டு கருந்துளைகளின் (Black hole) மோதலின் விளைவாக உருவாகின. ஈர்ப்பு அலை உருவாகுவதற்கு நான்கு முக்கிய காரணிகள் உள்ளன. முதலாவதாக, இரு அடர் நிறை பொருட்கள் மோதலின் விளைவாக ஈர்ப்பு அலை உருவாக்கப்படுகின்றன. இரண்டு கருந்துளைகள் மோதல்கள் (படம் 2), இரண்டு நொதுமி விண்மீன் (நியூட்ரான் விண்மீன், Neutron Star) மோதல்கள், கருந்துளை நொதுமி விண்மீன் மோதல்கள் இவ்வகை சார்ந்தது. ஈர்ப்பு அலைகளை நேரடியாக கண்டறியப்பட்டதற்காக, ஈர்ப்பு விஞ்ஞானிகளுக்கு 2016 ஆம் ஆண்டில் சிறப்பு பிரேக் த்ரூ (Special Break Through) பரிசும், 2017 ஆம் ஆண்டுக்கான இயற்பியலுக்கான நோபல் பரிசு, ஈர்ப்பு அலைகளை நேரடியாகக் கண்டறிவதில் ரெய்னர் வெயிஸ், கிப் தோர்ன் மற்றும் பேரி பாரிஷ் ஆகியோரின் பங்கிற்க்காக வழங்கப்பட்டது.



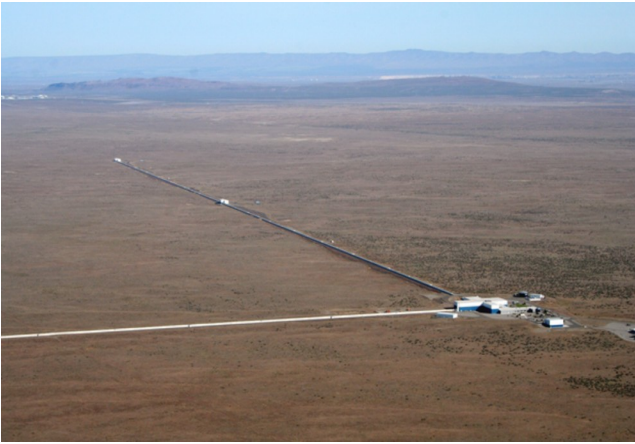
**படம் 2:** இரண்டு கருந்துளைகள் ஒன்றையொன்று நோக்கிச் சுழலும்போது வெளிப்புறமாக எழும் ஈர்ப்பு அலைகளை இந்த விளக்கப்படம் காட்டுகிறது. விளக்கப்படம்: ஆர். ஹர்ட் (கால்டெக்-ஐபிஏசி).

இரண்டாவது காரணி: மீயொளிர் விண்மீன் வெடிப்பின் (Supernova) போது வெளி நேர அலைகள் உருவாகின்றன. மூன்றாவது காரணி: ஒரு சுழல் நொதுமி விண்மீன் பொதுவாக எந்த ஈர்ப்பு அலை கதிர்வீச்சையும் வெளியிடுவதில்லை, ஏனெனில் நொதுமி விண்மீன்கள் மிகவும் அடர்த்தியான

பொருள்களாக இருப்பதால் வலுவான ஈர்ப்பு விசையுடன் அவை கிட்டத்தட்ட கோளமாக இருக்கும். இருப்பினும், சில சந்தர்ப்பங்களில், "மலைகள்" என்று அழைக்கப்படும் மேற்பரப்பில் லேசான குறைபாடுகள் இருக்கலாம், அவை மேற்பரப்பிலிருந்து சில அங்குலங்கள் மேல் நீட்டிக்காத புடைப்புகள் இருக்கும் பட்சத்தில் அவை விண்மீனின் சுழற்சியை கோள சமச்சீரற்றதாக ஆக்குகின்றன. இவை வெளி நேர இடர்பாட்டை உருவாகின்றன இதுவே நீண்ட கால ஈர்ப்பு அலைகளை வெளியிடுவதற்கு காரணமாக அமைகின்றது. நான்காவது காரணி: பல ஆரம்பகால பிரபஞ்ச மூலங்களிலிருந்து மற்றும் பல வானியற்பியல் மூலங்களின் வரும் இந்த ஈர்ப்பு அலையை பின்னணி ஈர்ப்பு அலை/வாய்ப்பியல்சார் ஈர்ப்பு அலை (stochastic gravitational wave background) எனப்படும்.

### **சீரொளி குறுக்கீட்டுமானி ஈர்ப்பலை ஆய்வகங்கள்:**

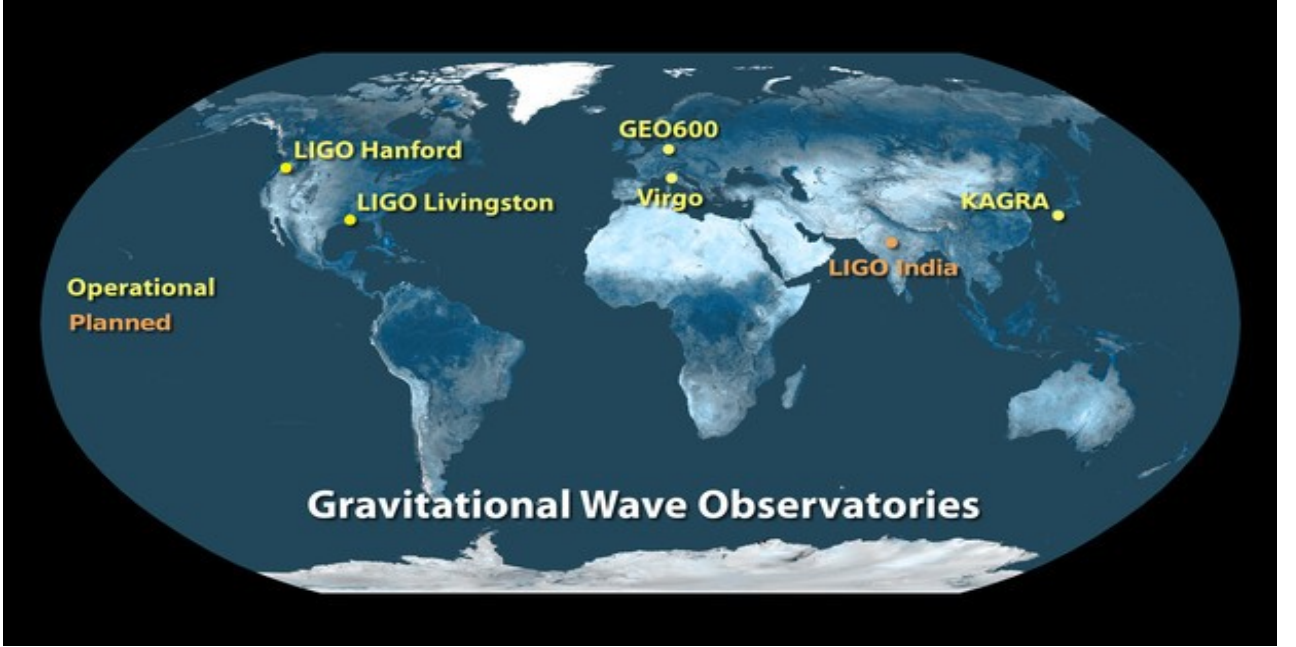
லைகோ (LIGO) எனச் சுருக்கமாக அழைக்கப்படும் சீரொளி குறுக்கீட்டுமானி ஈர்ப்பலை ஆய்வகம் (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) ஈர்ப்பு அலைகளை கண்டறிவதற்காக நிறுவப்பட்ட ஆய்வகம் ஆகும். தற்போது உலகில் இரண்டாம் தலைமுறை ஈர்ப்பு அலை ஆய்வகங்கள் 5 உள்ளன. ஐக்கிய அமெரிக்காவில் இரண்டு ஆய்வகங்கள் நிறுவப்பட்டுள்ளன, ஒன்று வாஷிங்டன் மாகாணத்தில் உள்ள ஹான்ஃபோர்டு இடத்திலும் மற்றொன்று லூசியானா மாநிலத்தில் உள்ள லிவிங்ஸ்டன் இடத்திலும் உள்ளது. இத்தாலியின் டஸ்கனியில் மாகாணத்தில் உள்ள மசெராட்டாவில் சாண்டோ ஸ்டெபனோ இடத்தில் ஆய்வகம் உள்ளது அவை விற்கோ (Virgo) ஆய்வகம் என்ற பெயரில் அழைக்கப்படுகிறது. ஜப்பானின் கிஃபு மாகாணம் ஹிடா என்ற இடத்தில் உள்ள ஆய்வகத்தை சுருக்கமாக காக்ரா (KAGRA) ஆய்வகம் என்று அழைக்கப்படுகிறது. ஜெர்மனியின் ஹனோவரின் தெற்கில் உள்ள சார்ஸ்டெட் அருகே GEO600 என்ற ஈர்ப்பு அலை ஆய்வகம் அமைந்துள்ளது.



**படம் 3:** ஐக்கிய அமெரிக்காவில் உள்ள இரண்டு ஆய்வகங்கள். இடது: ஹான்ஃபோர்டு ஆய்வகம் வலது: லிவிங்ஸ்டன் ஆய்வகம். புகைப்படம்: கால்டெக்/எம்ஐடி/லைகோ ஆய்வகம்.



இந்தியாவிலும் லைகோ ஆய்வகம் அமைப்பதற்கான முயற்சிகள் நடைபெற்று வருகின்றன மகாராஷ்டிரா மாநிலத்தில் உள்ள ஹிங்கோலி மாவட்டத்தில் உந்த் என்ற இடத்தில் அமைய முடிவு செய்யப்பட்டுள்ளது. இந்த ஆய்வகம் ஐக்கிய அமெரிக்கா மற்றும் இந்திய அறிவியலாளர்களின் கூட்டுமுயற்சியில் உருவாக்கப்படுகின்றன. புனேவில் உள்ள பல்கலைக்கழகங்களுக்கு இடையேயான வானியல் மற்றும் வான் இயற்பியல் மையம் (IUCAA), இந்தூரில் உள்ள இராசா இராமண்ணா மேம்பட்ட தொழில்நுட்பத்திற்கான மையம் (RRCAT), காந்திநகரிலுள்ள பிளாஸ்மா ஆய்வு கழகம் (IPR) ஆகியவை முதன்மை நிறுவனங்களாக இத்திட்டத்திற்கு செயல்படுகின்றன.

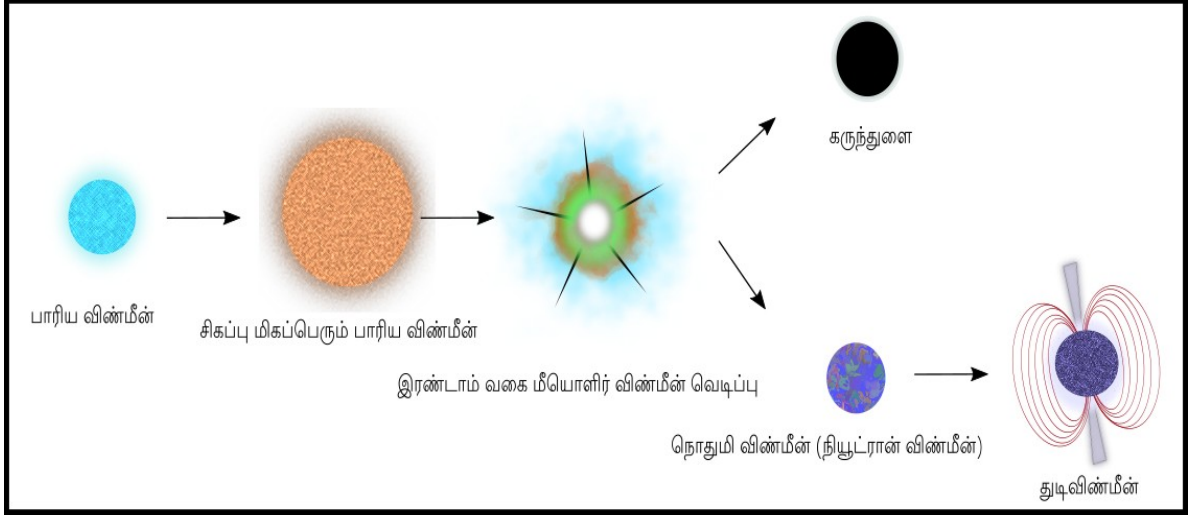


**படம் 4:** உலகெங்கிலும் உள்ள இரண்டாம் தலைமுறை ஈர்ப்பு அலை ஆய்வகங்கள். ஐக்கிய அமெரிக்கா: ஹான்போர்ட், வாஷிங்டன் மற்றும் லிவிங்ஸ்டன், லூசியானா, ஜெர்மனியில் உள்ள GEO600, ஜப்பானில் உள்ள KAGRA, இத்தாலியில் உள்ள VIRGO. இந்தியாவில் லைகோ ஆய்வகம் திட்டமிடப்பட்டுள்ளது. விளக்கப்படம்: கால்டெக்/எம்ஐடி/லைகோ ஆய்வகம்.

லைகோ இரண்டாம் தலைமுறை ஆய்வகம் மூலம் இதுவரை 3 அறிவியல் கண்காணிப்பு ஓட்டம் நடைபெற்றுள்ளன, அதன்மூலம் இரு அடர் நிறை பொருட்கள் மோதலின் விளைவாக 90 ஈர்ப்பு அலை நிகழ்வுகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. ஈர்ப்பு அலை கண்டறிவது வானியற்பியல் மற்றும் பிரபஞ்சம் தொடர்பான பல கேள்விகளுக்கு விடைகாண வழிவகுக்கும். இதை கண்டறிவது என்பது தொழில்நுட்ப ரீதியான பல சவால்களை கொண்டுள்ளது உதாரணமாக குவைய (Quantum) இரைச்சல் அல்லது கண்ணாடி மேற்பரப்பு சிதைவுகான தீர்வுகள், சிக்கலான குறுக்கீட்டுமானி கருவிகளின் கட்டுப்பாடு மற்றும் செயல்பாடு, கணக்கீட்டு மற்றும் தரவு பகுப்பாய்வு சவால்கள் (Computational and data analysis challenges).

## விண்மீனின் பரிணாம வளர்ச்சி சுருக்கம்:

கருந்துளை மற்றும் நியூட்ரான் விண்மீன் எவ்வாறு உருவாகிறது என்பதை முதலில் சுருக்கமாக பார்க்கலாம். பிரபஞ்சத்தில் நிகற்புதம் (Billion) விண்மீன்கள் உள்ளன. அவை வெவ்வேறு நிறை, ஒளிர்வு மற்றும் அளவுகளைக் கொண்டுள்ளன. வாழும் உயிரினங்களைப் போலவே விண்மீன்களுக்கும் பிறப்பும் இறப்பும் உண்டு. விண்மீனின் பிறப்பு விண்மீன் ஒண்முகிலிருந்து (Nebula) தொடங்குகிறது, மரணம் விண்மீன் எச்சங்களுடன் (மீதம்) முடிகிறது. இடைப்பட்ட விண்மீனின் பரிணாம விண்மீனின் நிறையைப் பொறுத்தது.

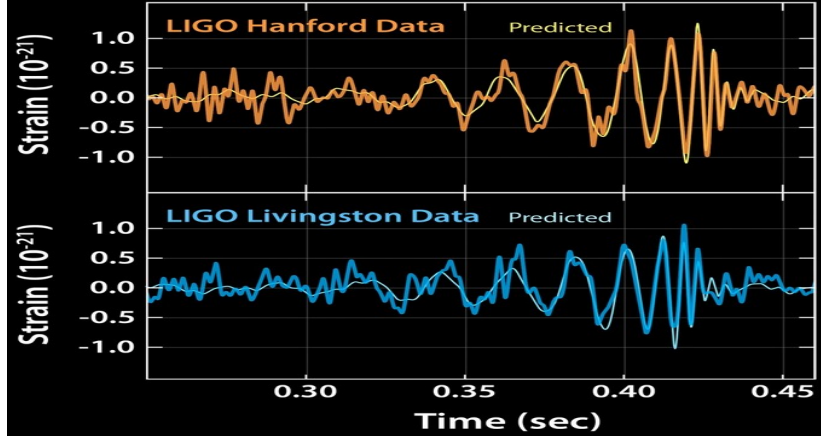


**படம் 5:** விண்மீனின் பரிணாம வளர்ச்சி. பாரிய விண்மீன் நிலை முதல் விண்மீனின் எச்சங்கள் வரை.

ஒரு விண்மீன் நமது சூரியனை நிறையை விட எட்டு மடங்கு இருந்தால், அது சிகப்பு மிகப்பெரும் பாரிய விண்மீன் (Red supergiant) நிலைக்குச் சென்று, பின்னர் மீயொளிர் விண்மீன் வெடிப்பு (Supernova) வழிவகுக்கிறது. அவ்வெடிப்பு இரண்டாம் வகை மீயொளிர் விண்மீன் வெடிப்பு என்றால், எஞ்சியிருப்பது ஒரு கருந்துளையாக அல்லது நியூட்ரான் விண்மீன் அல்லது துடிவிண்மீன்னாக இருக்கும். விளக்கப்படம் படம் 5 காண்க.

### GW150914:

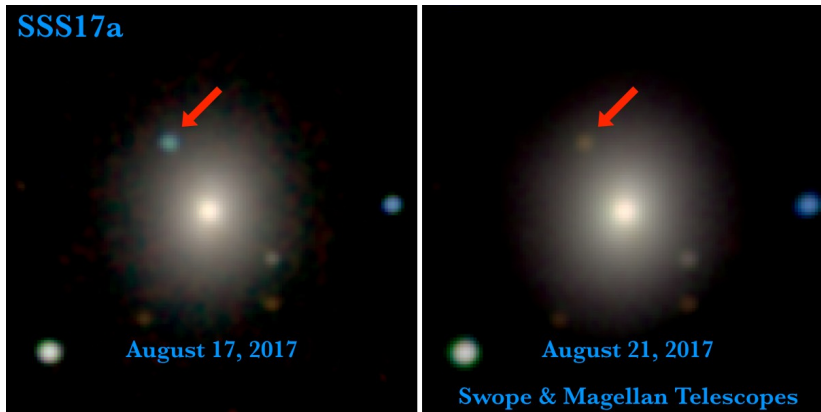
இரு அடர் நிறை பொருட்களின் உருவாக்கம் மற்றும் பரிணாம பல்வேறு நிகழ்வுகளைச் சார்ந்து. 14 செப்டம்பர் 2015 யில் கவனிக்கப்பட்ட முதல் ஈர்ப்பு அலையின் சமிக்ஞை ஆராய்ச்சி அடிப்படையில், இச்சமிக்ஞைக்கு காரணம் இரண்டு கருந்துளைகளின் மோதல் என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அவை சூரியனை நிறையை விட 29 மற்றும் 36 மடங்கு அதிகமாக இருப்பதாக மதிப்பிடப்பட்டதுள்ளது. இந்த நிகழ்வு 1.3 நிகற்புதம் (13000 கோடி, பில்லியன்) ஒளியாண்டுகள் தொலைவில் நடந்ததுள்ளது. மேலும் ஒரு வினாடியின் ஒரு பகுதியிலேயே இவ்மோதல்லின் ஆற்றல் சூரியனின் நிறையை விட சுமார் 3 மடங்கு ஈர்ப்பு அலைகளாக மாற்றப்பட்டது.



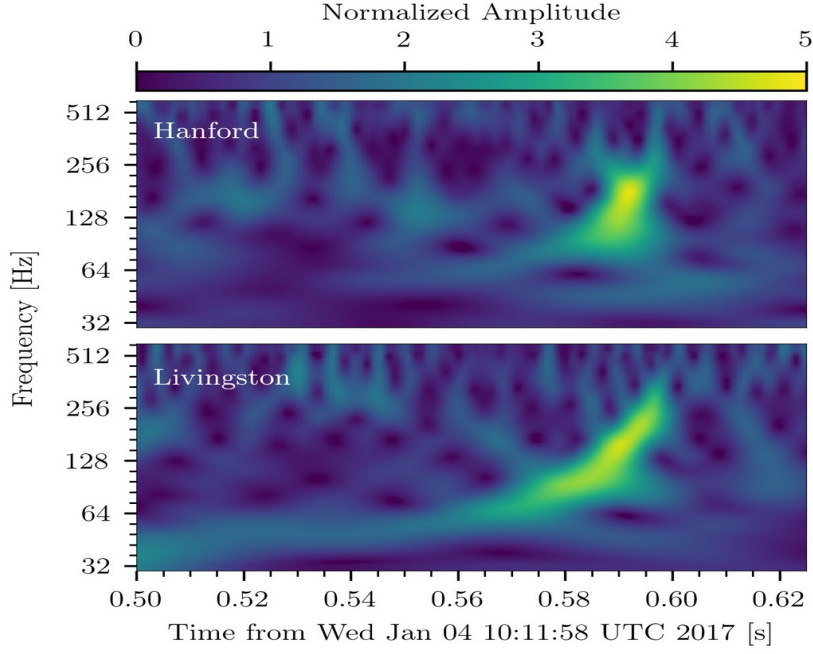
**படம் 6:** ஹான்ஃபோர்ட் மற்றும் லிவிங்ஸ்டன் ஆய்வகம் கண்டறியப்பட்ட முதல் ஈர்ப்பு அலை (GW150914) சமிக்ஞை. இவை இயற்பியல் கணக்கீட்டு ரீதியாக கணிக்கப்பட்ட சமிக்ஞையுடன் பொருந்துகிறது. சமிக்ஞை [படம்: லைகோ தரவு பகுப்பாய்வு முடிவு].

### **GW170917:**

கண்டறியப்பட்ட ஈர்ப்பு அலை சமிக்ஞைகள் பெயரிடும் செயல்முறை GW முன்னொட்டுடன் ஆண்டு, மாதம் மற்றும் தேதியைப் பின்பற்றுகிறது. ஒரே நாளில் ஒன்றுக்கும் மேற்பட்ட நிகழ்வுகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டால் நேர, நிமிட, வினாடிகள் சமிக்ஞைளின் பெயரில் சேர்க்கப்படும். மற்றொரு முக்கியமான ஈர்ப்பு அலை சமிக்ஞை 17 ஜூலை 2017 அன்று கண்டறியப்பட்டது. இவை இரண்டு நொதுமி விண்மீன் மோதல் காரணமாக நடந்தது. இந்த நிகழ்வுக்குப் பிறகு ஏற்படும் இயற்பியல் விளைவுகள் மின்காந்த அலைகளின் அலைவரிசைகளில் கண்டறியப்பட்டது. இது வானியல் கண்டுபிடிப்புகளில் முக்கியமான ஒன்றாகும்.



**படம் 7:** GW170817 ஈர்ப்பு-அலை மூலத்திலிருந்து முதல் ஒளியியல் ஃபோட்டான்கள். இடது **படம்:** LIGO-VIRGO கண்டறிதலுக்குப் பிறகு 11 மணிநேரம் கழித்து Swope மற்றும் Magellan ஒளியியல் தொலைநோக்கியால் எடுக்கப்பட்ட அகச்சிவப்புப் படங்கள். வலது படம். நான்கு நாட்களுக்குப் பிறகு நொதுமி விண்மீன் இணைப்பின் பிந்தைய இயற்பியல் விளைவு-கணிசமான அளவு மங்கி அதன் நிறம் சிவப்பாக மாறியதிலிருந்து நிகழ்வு (அம்புக்குறி). [படம்: 1M2H/UC சாண்டா குரூஸ் மற்றும் கார்னகி வானியல் ஆய்வகம்/ரியான் ஃபோலே].



**படம் 8:** GW170817 நேர அதிர்வெண் அலைமாலை வரைவு (Spectrogram). படத்தில் உள்ள பிரகாசமான தொடர்ச்சியான மஞ்சள் நிறம் (வாழைப்பழ வடிவ தோற்றம்) GW170817 இன் சமிக்ஞையாகும். [படம்: GW170104 கண்டுபிடிப்பு கட்டுரை].

மேலும் பல இரு அடர் நிறை பொருட்களின் மோதல்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதுள்ளது, குறிப்பிடத்தக்க நிகழ்வுகள் GW190521, GW190421 கண்டுபிடிப்புகள் ஆகும். இவைற்றை பற்றி அடுத்த பகுதியில் பார்ப்போம்.

### தொடரும்....

சு. சுதாகர்,  
நிக்கோலஸ் கோப்பர்நிக்கஸ் வானியல் மையம் (CAMK)-  
போலந்து அறிவியல் கழகம் (PAN),  
போலந்து.

\*\*\*\*\*

### சொற்களஞ்சியம்

அகச்சிவப்புக் கதிர்கள்:	Infrared rays
அதிர்வெண்:	Frequency
அலைநீளம்:	Wavelength
ஆற்றல்:	Energy
இரு அடர் நிறை பொருட்கள்:	Binary Compact Objects
இயற்பியல்:	Physics
இரும-துடிவிண்மீன்:	Binary Pulsar
ஈர்ப்பு அலை:	Gravitational Waves

ஈர்ப்பு அலை வானியல்:	Gravitational Wave Astronomy
ஊடு-கதிர்கள்:	X-rays
ஒளியியல் தொலைநோக்கி:	Optical Telescope
ஒண்முகிலிருந்து:	Nebula
கருந்துளை:	Black hole
கண்காணிப்பு ஓட்டம்:	Observation run
கண்ணுறு ஒளி:	Visible light
காமா கதிர்கள்:	Gamma rays
குறுக்கீட்டுமானி:	Interferometer
குவைய:	Quantum
சமிக்ஞை:	Signal
சிகப்பு மிகப்பெரும்	Red supergiant
பாரிய விண்மீன்:	
சீரொளி:	Laser
சீரொளி குறுக்கீட்டுமானி	Laser Interferometer
ஈர்ப்பலை ஆய்வகம்:	Gravitational-wave Observatory
தரவு பகுப்பாய்வு:	Data analysis
துடிவிண்மீன்:	Pulsar
தொலைநோக்கி:	Telescope
புறஊதாக் கதிர்கள்:	Ultraviolet rays
பொது சார்பியல்:	General Relativity
பொறிமுறை அலை:	Mechanical Waves
பொறிமுறை இல்லா அலை:	Non-Mechanical Waves
மின்காந்த அலை:	Electromagnetic Waves
மீயொளிர் விண்மீன் வெடிப்பு:	Supernova
நிறை:	Mass
நிகற்புதம் (நூறு கோடி):	Billion
நுண்ணலைகள்:	Micro waves
நேர அதிர்வெண்	Spectrogram
அலைமாலை வரைவு:	
நொதுமி விண்மீன்:	Neutron Star
வெளிநேரம்:	Space-Time
வானியல்:	Astronomy
வானியற்பியல்:	Astrophysics
வானொலி அலைகள்:	Radio Waves
வாய்ப்பியல்சார் ஈர்ப்பு அலை:	Stochastic gravitational wave background

Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory: LIGO

Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics: IUCAA

Raja Ramanna Centre for Advanced Technology: RRCAT

Institute for Plasma Research: IPR