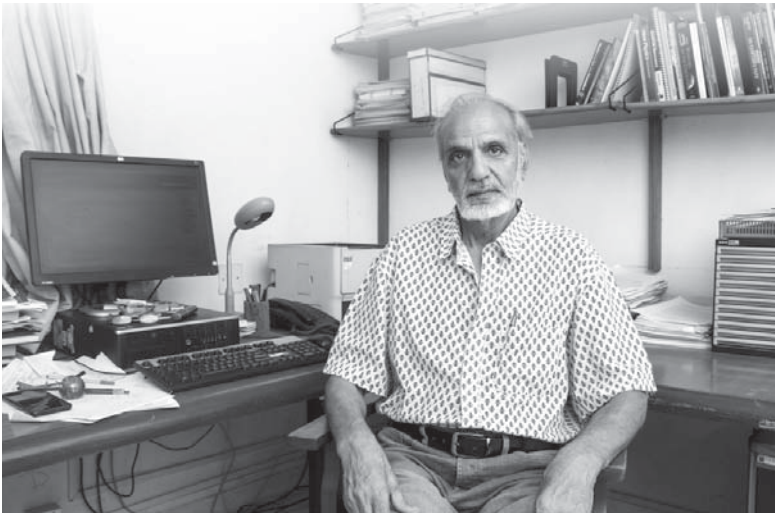
डार्क एनर्जी, ब्लैक होल और सुपर रेडिएंट बम

विनय आर.आर.



चित्र-1: *डॉ. नरेश दधिच*

डॉ. नरेश दधिच भारत के मशहूर सैद्धान्तिक भौतिक विज्ञानी थे। उनका शोध मुख्य रूप से सामान्य सापेक्षितावाद, गुरुत्वाकर्षण, ब्लैक होल एवं ब्रह्माण्ड विज्ञान (कॉस्मोलॉजी) पर केन्द्रित था। डॉ. दधिच खगोल भौतिकी और क्वांटम गुरुत्व के क्षेत्र में भारत के अग्रणी वैज्ञानिक एवं शोधकर्ता रहे हैं। उनका काम भारत में विज्ञान के क्षेत्र में काम करने वाले सभी लोगों के लिए प्रेरणादायक रहेगा। इस लेख में हम यह जानने की कोशिश करेंगे कि डॉ. दधिच ने क्या काम किया या यूँ कहें कि उनका शोध यकीनी तौर पर क्या बताता है।

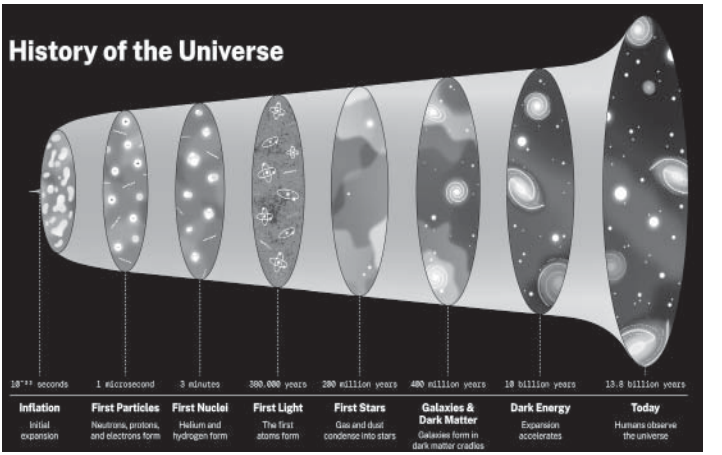
ब्रह्माण्ड तेज़ी-से फैल रहा है

आम तौर पर किताबों में आपने कई बार पढ़ा होगा कि वैज्ञानिकों के बकौल, हमारा ब्रह्माण्ड तेज़ी-से फैल रहा है। लेकिन कई दफा हमें समझ नहीं आता कि दरअसल इस वाक्य का मतलब है क्या।

डॉ. दधिच ने इस बात को सरल तरीके से समझाने की कोशिश की है। हम सभी पृथ्वी ग्रह पर रहते हैं। पृथ्वी और अन्य ग्रह-उपग्रह मिलकर हमारा सौर-मण्डल बनाते हैं। ऐसे लाखों सौर-मण्डल से मिलकर एक आकाशगंगा बनती है। ऐसी हज़ारों आकाशगंगाओं से मिलकर हमारा पूरा ब्रह्माण्ड निर्मित हुआ है।

कुछ अरब साल पहले यह पूरा ब्रह्माण्ड एक बहुत ही छोटे-से पिण्ड में समाहित था। इस सघन पिण्ड में बड़ा ही ज़बरदस्त विस्फोट हुआ और सारी आकाशगंगाएँ अलग-अलग दिशाओं में छितरा गईं। साल 1929 में एडविन हब्बल ने बताया कि सभी आकाशगंगाएँ हमसे दूर जा रही हैं। जो आकाशगंगा जितनी दूर होगी, उसके दूर जाने की रफ्तार उतनी ही ज़्यादा होगी। एक मायने में ब्रह्माण्ड गुब्बारे की तरह फूल रहा है। चूँकि ब्रह्माण्ड के सभी पिण्डों में एक-दूसरे को खींचने वाला गुरुत्वाकर्षण बल है, इसलिए गुरुत्वाकर्षण की वजह से तो ब्रह्माण्ड का फैलाव मन्द होना चाहिए था। इससे उलट, वो तो तेज़ी-से फैलता जा रहा है। इसका कारण है डार्क एनर्जी।

डॉ. दधिच सरल शब्दों में बताते हैं कि "यह डार्क एनर्जी कोई जादुई ताकत नहीं है। यह अन्तरिक्ष का प्राकृतिक धक्का (the natural intrinsic



Link - https://science.nasa.gov/dark-energy/

चित्र-2: *ब्रह्माण्ड का इतिहास: डार्क एनर्जी और प्रसारित होता हुआ विश्व।*

repulsive of space time) है। अन्तरिक्ष इतना बड़ा और विशाल है कि उसमें धक्का देने की ताकत खुद-ब-खुद आ जाती है। यह धक्का गुरुत्वाकर्षण को हराकर ब्रह्माण्ड को तेज़ी-से फैलाता है।" संक्षेप में कहें तो डार्क एनर्जी कोई फर्क शै (वस्तु) न होकर अन्तरिक्ष की खुद की ताकत है।

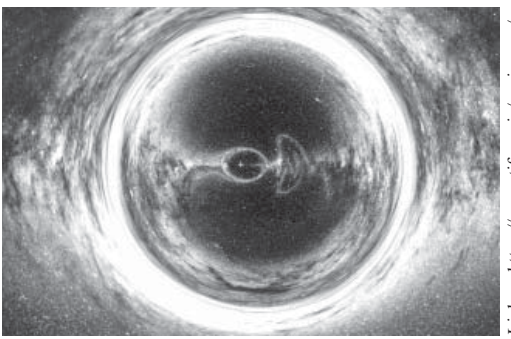
ब्लैक होल सिर्फ निगलने वाला दैत्य नहीं

डॉ. दधिच ने एक बात और बताई कि ब्लैक होल सिर्फ सब कुछ निगलने वाला दैत्य नहीं है बल्कि वो एक विशाल 'ऊर्जा जनरेटर' है। इनसे भविष्य में कभी शायद ऊर्जा प्राप्त भी की जा सकती है।

यह सवाल कभी-न-कभी मन में आता ही है कि ब्लैक होल कैसे बनते हैं।

तारों के प्रकाशवान बने रहने के लिए हाइड्रोजन नामक ईंधन का उपयोग होता है। चूँकि तारों पर ऑक्सीजन नहीं है इसलिए हाइड्रोजन का दहन नहीं हो सकता। लेकिन दो हाइड्रोजन परमाणुओं का संलयन होता है और परिणाम स्वरूप एक हीलियम का परमाणु और ढेर सारी ऊर्जा निर्मित होती है। हमारा सूर्य भी एक तारा है, उसमें भी संलयन की क्रिया चलती रहती है। सूर्य से 20-30 गुना बड़े तारों में जब ईंधन यानी हाइड्रोजन खत्म हो जाता है तब खुद के गुरुत्वाकर्षण की वजह से वो तारा दबकर छोटा होता जाता है। दबते-दबते उसका आकार कुछ किलोमीटर का रह जाता है लेकिन उसका द्रव्यमान पूर्ववत ही रहता है। ब्रह्माण्ड की तुलना में इस दबते तारे का आकार एक बिन्दु के बराबर कहना चाहिए। इसे ब्लैक होल या कृष्ण विवर कहा जाता है। इसके भीतर गया प्रकाश या इसके भीतर निर्मित प्रकाश ब्लैक होल के गुरुत्वाकर्षण के कारण बाहर नहीं आ पाता।

ब्लैक होल के बीच के हिस्से में एक सघन बिन्दु होता है जिसे सिंगुलैरिटी कहा जाता है। ब्लैक होल के ईवेंट होराइज़न (ब्लैक होल की सीमा) की वजह से वो ढँक जाता है और हमें दिखाई नहीं देता। यदि ब्लैक होल बनने की प्रक्रिया के



Link - https://www.tifr.res.in/~scicomm/spotlights/2025-01-15-pnass.html

चित्र-3: *एक काल्पनिक नेकेड सिंगुलैरिटी की किरण-आधारित छवि, जो मिल्की वे की पृष्ठभूमि के सामने दिखाई गई है।*

दौरान ईवेंट होराइज़न नहीं बन पाया हो तो सिंगुलैरिटी एक खुला (नेकेड पॉइंट) बिन्दु बना रहेगा।

आइंस्टीन की अवधारणा को चुनौती

साल 1915 में आइंस्टीन ने सामान्य सापेक्षितावाद के सिद्धान्त के सन्दर्भ में यह मत रखा था कि 'गुरुत्वाकर्षण' अन्तरिक्ष और समय की वक्रता (space-time curvature) की वजह से होता है। इस विचार के अनुसार, कोई बड़ा तारा मरते समय अपने गुरुत्वाकर्षण की वजह से दबने लगता है और इसके बीच के हिस्से में अत्याधिक घना बिन्दु निर्मित होता है। यहाँ भौतिकी के नियम लागू नहीं होते। आइंस्टीन को यकीन था कि ब्रह्माण्ड में ऐसे खुले (नग्न) बिन्दु वास्तव में नहीं हैं। उन्हें भरोसा था कि ब्रह्माण्ड में ऐसे अनन्त घनत्व वाले बिन्दु कभी निर्मित नहीं होंगे। सन् 1969 में रोजर पेनरोज़ ने ऐसे बिन्दु को सैद्धान्तिक दृष्टि से प्रमाणित किया।

1970-80 के दशक में डॉ. दधिच ने 'वैद्य मेट्रिक' गणितीय मॉडल का इस्तेमाल करते हुए बताया कि अगर तारे का गुरुत्वीय पतन कुछ फर्क हालात में हो रहा हो तो खुली सिंगुलैरिटी निर्मित हो सकती है। उदाहरणार्थ, यदि गुरुत्वीय पतन काफी तेज़ गति से हो रहा हो तो ईवेंट होराइज़न बनने से पहले सिंगुलैरिटी खुली (नग्न) रहती है।

डॉ. दधिच ने सन् 2001 में यह दिखाया कि चौथे आयाम (डायमेंशन) के तहत हमारे ब्रह्माण्ड में खुली सिंगुलैरिटी सम्भव है। लेकिन पाँचवें, छठे या इससे अधिक आयाम में यह सम्भावना कम होती जाती है और अनन्त आयाम में तो यह खुली सिंगुलैरिटी बिलकुल नहीं बनेगी। इसी वजह से सामान्य सापेक्षितावाद के सिद्धान्त का विस्तार (उदाहरण के लिए, गुरुत्व के रास्ते क्वांटम) ज़रूरी है। डॉ. दधिच ने इस तथ्य को दर्ज करवाया।

डॉ. दधिच ने बताया कि यदि किसी तारे के संघनित होने की गति काफी तेज़ हो तो ब्लैक होल बनने की बजाय खुली सिंगुलैरिटी निर्मित हो सकती है। यहाँ गुरुत्व अनन्त रहता है पर वह बिन्दु दबा हुआ नहीं होता।

हॉकिंग की अवधारणा को चुनौती

सन् 1974 में स्टीफन हॉकिंग ने क्वांटम मेकेनिक्स और सामान्य सापेक्षितावाद का मिलाकर उपयोग करते हुए बताया कि ब्लैक होल पूरी तरह काले-अँधेरे और ठण्डे नहीं होते हैं। उनमें काफी कम ही सही परन्तु तापमान मौजूद होता है। हॉकिंग रेडिएशन (विकिरण) छोड़ते हुए वे छोटे होते जाते हैं और अन्ततः गायब हो जाते हैं।

डॉ. दधिच ने उपरोक्त विचार में आयाम और गॉस-बॉनेट नियमों का

उपयोग करते हुए बताया कि पाँचवें आयाम में बड़े ब्लैक होल अधिक ठण्डे होते हैं तथा छोटे ब्लैक होल ज़्यादा गरम।

हॉकिंग रेडिएशन क्वांटम है, लेकिन दधिच का मानना था कि इसके साथ क्लासिकल वैद्य रेडिएशन (Vaidya radiation) भी ज़रूरी है, क्योंकि क्लासिकल वैद्य रेडिएशन ही वो राह तैयार करता है जिसकी वजह से हॉकिंग रेडिएशन अनन्त दूरी तक पहुँच पाता है।* ब्लैक होल का व्यवहार हाइब्रिड (मतलब क्लासिकल + क्वांटम) है और यह ब्लैक होल बम जैसी परिकल्पना को एक नया आयाम देता है।

क्वांटम प्रभाव की वजह से ब्लैक होल के क्षितिज पर क्षण-भंगुर कणों की जोड़ियाँ बनती हैं। इनमें से एक कण ब्लैक होल के भीतर गिरता है और दूसरा कण बाहर आता है। इसे 'हॉकिंग रेडिएशन' कहा जाता है। भीतर गिरने वाले कण के मुकाबले, यह बाहर आने वाला कण कहीं ज़्यादा ऊर्जा लेकर बाहर आता है। तकरीबन 20-21 प्रतिशत ज़्यादा ऊर्जा मिलती है। यह ऊर्जा ब्लैक होल के परिक्रमण से मिलती है। इसे 'पेनरोज़ प्रोसेस' कहा जाता है।

मैगनेटिक पेनरोज़ प्रोसेस (MPP) डॉ. दधिच का विशेष शोध था। पेनरोज़ प्रक्रिया के दौरान यदि ब्लैक होल के आसपास ज़बरदस्त चुम्बकीय क्षेत्र हो तो क्या होगा?

डॉ. दधिच ने दिखाया कि 20 प्रतिशत नहीं बल्कि 100 प्रतिशत, 200 प्रतिशत और 1000 प्रतिशत तक ज़्यादा ऊर्जा मिल सकती है।

ब्लैक होल एक शक्तिशाली चुम्बक होता है जिसमें चुम्बकीय बल रेखाएँ किसी पंखे की तरह घूमती हैं। इसमें से विद्युत भारित कण तेज़ रफ्तार से बाहर की ओर फेंके जाते हैं। मानो कॉस्मिक कैटापल्ट (ब्रह्माण्डीय गुलेल या गोफन) हो। हम गोफन नामक जुगत से पत्थर को 100-200 मीटर दूर तक फेंक पाते हैं, लेकिन कॉस्मिक कैटापल्ट इतनी ज़बरदस्त होती है कि ये विद्युत भारित कण प्रकाश की गति से लाखों-करोड़ों किलोमीटर दूर तक फेंके जाते हैं। इस ऊर्जा को हम इकट्ठा भी कर सकते हैं। भविष्य में अन्तरिक्ष में बिजली निर्माण के लिहाज़ से यह एक क्रान्तिकारी विचार है।

अधिक आयामी ब्लैक होल (हायर डायमेंशन ब्लैक होल्स)

हम धरती पर आसपास की जगह को समझने के लिए मुख्य रूप से तीन आयामों का इस्तेमाल करते हैं – लम्बाई, चौड़ाई और ऊँचाई। ब्रह्माण्ड को समझने के लिए एक और आयाम का उपयोग करते हैं, वह

* *सन् 1941 में प्रह्लाद वैद्य द्वारा बताया गया क्लासिकल रेडिएशन यानी तारे जब प्रकाश उत्सर्जित कर रहे होते हैं, तब उस गुरुत्वीय क्षेत्र की स्थिति को प्रदर्शित करता एक मॉडल।*

है – समय। यानी यहाँ चार आयाम हो गए।

पाँचवें, छठवें, दसवें आयाम में ब्लैक होल कैसे दिखेंगे, डॉ. दधिच ने इसके लिए गणनाएँ की थीं। उदाहरण के लिए, पाँचवें आयाम में ब्लैक होल गोल न होकर, काले-अँधेरे छल्ले की तरह दिखाई दे सकता है।

डॉ. दधिच ने पाँचवाँ आयाम एक्स्ट्रा-स्पेशियल डायमेंशन के रूप में लिया। इसे एक साधारण उदाहरण से समझा जा सकता है।

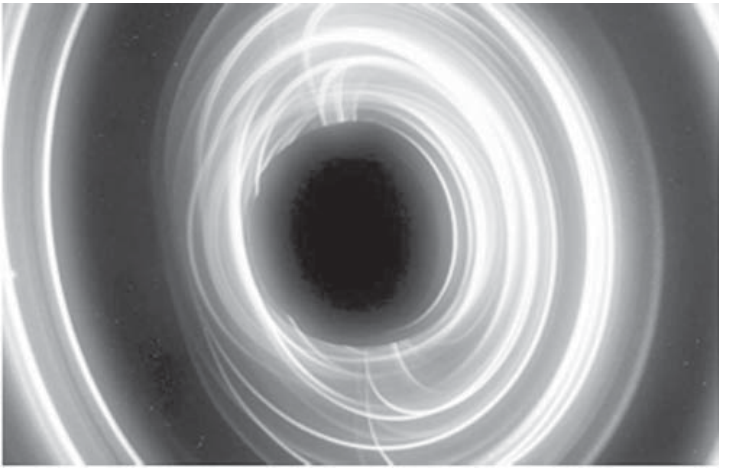
हम लोग रोज़मर्रा के जीवन में तीन आयाम देखते हैं – लम्बाई, चौड़ाई और ऊँचाई। इससे हमें यह पता चलता है कि कोई वस्तु कहाँ है। चौथा आयाम है – समय या टाइम। इससे हमें कोई वस्तु 'कब' है, और कब होगी, यह समझ आता है।

डॉ. दधिच बताते हैं कि "सच कहा जाए तो दुनिया में एक और आयाम है – पाँचवाँ आयाम। यह पाँचवाँ आयाम हमें दिखाई नहीं देता, क्योंकि वो काफी छोटे-छोटे लपेटों के रूप में होता है," जो मान लो, किसी एक महीन तार के भीतर छुपे हुए हों। इसे एक उदाहरण से देखते हैं – बगीचे में पानी सींचने के लिए एक ट्यूब है। इस ट्यूब को जब दूर से देखा जाए तो यह एक रेखा की तरह दिखती है (इसे पहला आयाम कहेंगे)। लेकिन जब पास जाकर ट्यूब को देखेंगे तब नली की गोलाकर चौड़ाई भी दिखाई देगी (यह दूसरा आयाम है)। यह गोलाकर चौड़ाई काफी छोटी होने की वजह से दूर से दिखाई नहीं देती। ऐसा ही कुछ पाँचवें आयाम का भी है - वह बेहद छोटा और लपेटे लिए हुए होने की वजह से हमें दिखाई नहीं देता, लेकिन वो मौजूद है।

पाँचवें आयाम की परिकल्पना की वजह से ब्लैक होल और डार्क एनर्जी का गणित आसान हो जाता है। गुरुत्वाकर्षण और अन्य बल साथ आते हैं और अन्तरिक्ष (स्पेस) में प्राकृतिक धक्का (λ, लैम्ब्डा) खुद-ब-खुद अवतरित हो जाता है, अलग से डार्क एनर्जी की परिकल्पना करने की ज़रूरत नहीं होती। संक्षेप में कहा जाए तो डॉ. दधिच द्वारा अपनी परिकल्पना और गणनाओं में छुपे हुए पाँचवें आयाम को शामिल करने की वजह से ब्रह्माण्ड के सभी रहस्य सरल और सहज रूप से समझ में आने लगे।

ब्लैक होल बम (super radiant bomb)

यदि घूमते हुए ब्लैक होल के आसपास एक दर्पण रखा जाए, तो ब्लैक होल से निकलने वाली तरंगें या किरणें बार-बार उफनती हैं और ऊर्जा भीषण रूप से बढ़ती जाती है। अन्त में एक ज़बरदस्त विस्फोट होता है, इसे 'ब्लैक होल बम' कहा जाता है। डॉ. दधिच ने इसके लिए भी पुख्ता गणनाएँ की थीं।



चित्र-4:
ब्लैक होल बम

Link - https://www.newscientist.com/article/2477867-first-ever-black-hole-bomb-created-in-the-lab/

ब्लैक होल विचार से हकीकत तक

ब्लैक होल का विचार धीरे-धीरे विकसित हुआ है जिसे इस तरह समझ सकते हैं कि आप किसी आकाशीय पिण्ड को छोड़कर, उससे बाहर जाना चाहते हैं (यानी उस पिण्ड के गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र से बाहर जाना चाहते हैं) तो आपको एक विशेष वेग की ज़रूरत होगी। इस वेग को पलायन वेग (escape velocity) कहा जाता है। चांद से पलायन करने के लिए 2.4 किलोमीटर/सेकण्ड का पलायन वेग ज़रूरी होगा। इसी तरह पृथ्वी से बाहर निकलने के लिए 11 किलोमीटर/सेकण्ड का पलायन वेग चाहिए। सौर मण्डल के बृहस्पति ग्रह पर पलायन वेग 620 किलोमीटर/सेकण्ड है। इसी तरह बढ़ते-बढ़ते हम तारों तक पहुँच सकते हैं और किसी ऐसे पिण्ड तक जहाँ गुरुत्वाकर्षण बल इतना प्रबल हो कि वहाँ पलायन वेग प्रकाश की गति के बराबर हो। ऐसी स्थिति में उस पिण्ड से निकलने वाला प्रकाश पिण्ड से बाहर नहीं निकल पाएगा। मतलब पिण्ड तो है लेकिन दिखाई नहीं देगा। इसे 'ब्लैक होल' कहा गया। काफी समय तक ब्लैक होल केवल एक विचार के रूप में मौजूद रहा।

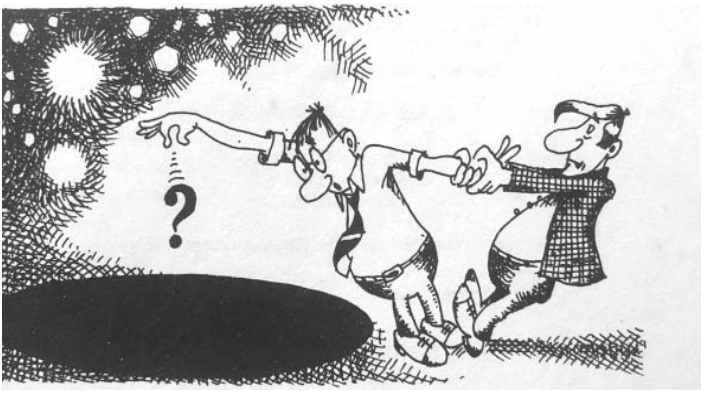
ब्लैक होल सम्बन्धी आधुनिक समझ की शुरुआत अल्बर्ट आइंस्टीन के सामान्य सापेक्षता सिद्धान्त (1915) से हुई। इसके बाद कार्ल श्वार्ज़शिल्ड ने कुछ गणितीय गणनाओं के आधार पर ब्लैक होल के लिए ईवेंट होराइज़न के रूप में एक सीमा तय की जिसके बाद ब्लैक होल के भीतर का प्रकाश भी बाहर नहीं आ सकता। यानी ईवेंट होराइज़न वह हिस्सा है जिसे देखा जा सकता है। 20वीं सदी में ही सुब्रह्मण्यन चंद्रशेखर ने तारों से व्हाइट ड्वॉर्फ, ब्लैक होल आदि बनने की सम्भावनाओं पर एक शोध प्रस्तुत किया था जिससे नष्ट होते तारों से ब्लैक होल बनने को समझना आसान हुआ। यह सीमा 'चंद्रशेखर लिमिट' के नाम से जानी जाती है।

आगे चलकर, 1960-70 के दशक में ब्लैक होल की भौतिक समझ गहरी हुई। रोजर पेनरोज़ ने गुरुत्वीय पतन (gravitational collapse) को गणितीय रूप से समझाया और सिंगुलैरिटी के अस्तित्व की ओर संकेत किया। इसी दौर में स्टीफन हॉकिंग ने क्वांटम प्रभावों को जोड़ते हुए बताया कि ब्लैक होल पूरी तरह 'काले' नहीं होते, बल्कि वे विकिरण उत्सर्जित कर सकते हैं। इन विकिरण को बाद में हॉकिंग विकिरण (Hawking radiation) कहा गया। इसकी वजह से ब्लैक होल को ऊष्मागतिकी (thermodynamics) और क्वांटम सिद्धान्त से जोड़ा जा सका और यहीं से कई नई पहेलियाँ – जैसे इन्फर्मेशन पैराडॉक्स आदि उभरकर सामने आईं।

संरचना की दृष्टि से ब्लैक होल के कुछ प्रमुख हिस्से माने जाते हैं। सबसे महत्वपूर्ण है ईवेंट होराइज़न, वह सीमा जिसे पार कर ब्लैक होल में जाने के बाद, वापसी सम्भव नहीं है।

इसी तरह ब्लैक होल के केन्द्र में एक अत्यधिक घना बिन्दु है जिसे सिंगुलैरिटी कहा जाता है, जहाँ घनत्व अत्यधिक हो जाता है और वर्तमान भौतिकी के नियम विफल हो जाते हैं। हालाँकि, इसकी वास्तविक प्रकृति को समझने की कोशिशें अभी भी जारी हैं।

आधुनिक खगोल विज्ञान ने अपने नवीन उपकरणों और खोजों की वजह से ब्लैक होल को एक ठोस वास्तविकता के रूप में स्थापित कर दिया है। ब्लैक होल सम्बन्धी शोधकार्यों में अब कई देश मिलकर काम कर रहे हैं। ऐसे दो शोधकार्यों का यहाँ हवाला दिया जा सकता है। पहला, सन् 2015 में लेज़र इंटरफेरोमीटर ग्रेविटेशनल वेव ऑब्ज़रवेट्री (LIGO) ने अपनी स्थापना के बाद सुदूर गुरुत्वीय तरंगों को नापा। ये गुरुत्वीय तरंगें 1.3 अरब प्रकाश वर्ष दूर दो ब्लैक होल के



चित्र-5: *यह चित्र इगोर नोविकोव की किताब 'ब्लैक होल्स एंड द यूनिवर्स' से साभार।*

टकराव से उत्पन्न हुई थीं। LIGO की उच्च दर्जे की संवेदनशीलता और मापन की वजह से ऐसा अवलोकन दर्ज किया जा सका।

दूसरी घटना है, ईवेंट होराइज़न नामक आकाशीय टेलिस्कोप की मदद से कई देशों में स्थापित रेडियो टेलिस्कोप को जोड़ते हुए एक लक्ष्य पर फोकस करते हुए, दो ब्लैक होल 'मेसर 87' और 'सेजिटेरियस ए' की रेडियो छवियाँ क्रमशः साल 2019 और 2022 में प्राप्त की गईं। इन दो छवियों को पाने के बाद अब स्पष्ट हो चला है कि लगभग हर बड़ी आकाशगंगा के केन्द्र में एक महाविशाल (supermassive) ब्लैक होल होता है और ये ब्लैक होल आकाशगंगाओं के विकास को प्रभावित करते हैं।

फिर भी, हमारी समझ अभी भी अधूरी है। सबसे बड़ी चुनौतियों में से एक है, सामान्य सापेक्षता और क्वांटम यांत्रिकी का मेल यानी 'क्वांटम गुरुत्वाकर्षण' का सिद्धान्त – सिंगुलैरिटी की असल प्रकृति क्या है, सूचना का क्या होता है और क्या हॉकिंग विकिरण वास्तव में सूचना को वापस ले आता है? ये सभी खुले प्रश्न हैं। इसलिए ब्लैक होल आज भी केवल एक खगोलीय पिण्ड ही नहीं, बल्कि भौतिकी के सबसे गहरे सिद्धान्तों की परीक्षा-स्थली बना हुआ है।

-विविध स्रोतों से संकलित

डॉ. नरेश दधिच (1944-2025): भारत के प्रमुख सामान्य सापेक्षतावादी (general relativist) वैज्ञानिक थे। पुणे स्थित आयुका (IUCAA) के सह-संस्थापक और पूर्व डायरेक्टर। उन्होंने 150 से ज़्यादा शोध पत्र लिखे हैं जिनमें से अधिकांश ब्लैक होल, गुरुत्वीय पतन और कॉस्मोलॉजी जैसे विषयों पर आधारित थे। दुनिया के कई वैज्ञानिक उन्हें 'भारत का चंद्रशेखर' कहते थे। उनका एक प्रमुख कार्य – एम.पी.पी (magnetic penrose process) और उच्च आयामी ब्लैक होल – वास्तव में आइंस्टाइन और हॉकिंग के सिद्धान्त को विस्तार देने वाला है। हाल के बरसों में (2024-2025 में) ये तमाम बातें एक बार फिर चर्चा में आईं और एलआईजीओ (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) जैसे प्रयोगों को प्रेरणा मिली।

संदर्भ में डॉ. दधिच के दो लेख प्रकाशित हो चुके हैं-

1. गुरुत्व की बारीक बातें (भाग-1), *संदर्भ* अंक-37, अप्रैल-मई, 2001.
2. गुरुत्व की बारीक बातें (भाग-2), *संदर्भ* अंक-38, जून-जुलाई, 2001.

विनय आर.आर.: पिछले कई दशकों से विज्ञान संचारक के रूप में कार्यरत हैं। मराठी विज्ञान परिषद की विविध गतिविधियों में सक्रिय रहे हैं। अभी परिषद की पुणे शाखा के अध्यक्ष हैं।

मराठी से हिन्दी अनुवाद: माधव केलकर: *संदर्भ* पत्रिका से सम्बद्ध हैं।

यह लेख मराठी में प्रकाशित होने वाली *शैक्षणिक संदर्भ* के अंक-157, दिसम्बर 2025-जनवरी 2026 से साभार।