ब्लैक होल
क्या होते हैं?

प्रज्वल शास्त्री

हमारी आकाशगंगा जैसी निहारिकाओं के गर्भ में अत्यन्त विशाल ब्लैक होल छुपे होते हैं जो कभी-कभी प्रकाश के भयानक शक्तिगृहों के रूप में विकसित हो जाते हैं। हम उनके अस्तित्व के बारे में कैसे जानते हैं? उनका जन्म कैसे होता है? उनका विकास कैसे होता है? क्या वे एक 'बड़े परिप्रेक्ष्य' में महत्त्वपूर्ण हैं?

जब भी कभी आप अन्धेरी रात में आसमान को देखते हैं तो एक शान्त दृश्य नज़र आता है। लगभग 3000 तारे, कुछ ग्रह, सम्भवत: एक चन्द्रमा – सभी हमें सम्मोहित करते हैं, और कभी-कभार उपयुक्त दिशा में एण्ड्रोमेडा या मैगेलेनिक क्लाउड जैसी निहारिकाएँ भी। अलबत्ता, इन सबमें सबसे विस्मयजनक है – हमारी अपनी निहारिका – आकाशगंगा या मिल्की-वे।

रात्रिकालीन आकाश की यह शान्ति दरअसल भ्रामक है। असल में प्रत्येक प्रकाश बिन्दु (या तारा) दहकते नाभिकीय ईंधन की भट्टी है, ठीक हमारे सूर्य के समान। अपेक्षाकृत नीले प्रकाश बिन्दु, हमारे 'मध्यम-आकार' के सूर्य से भी अधिक गर्म एवं बड़े हैं। हमारी समझ के अनुसार तारों – ख़ासकर बड़े तारों – का जीवन एक भयंकर विस्फोट के साथ समाप्त होता है (जिसे **सुपरनोवा** कहते हैं)। सुपरनोवा विस्फोट अपने पीछे 'अवशिष्ट' पिण्ड छोड़ जाते हैं। सूर्य से कई गुना बड़े तारों के ऐसे अवशिष्ट अन्ततः ब्लैक होल बनते हैं।

ब्लैक होल क्या होते हैं?

ब्लैक होल को स्थान के ऐसे हिस्सों के रूप में समझा जा सकता है, जिनका गुरुत्वाकर्षण बल इतना प्रबल होता है कि प्रकाश तक इनसे पलायन नहीं कर पाता।

पहली बार इनका ज़िक्र अठारहवीं सदी के अन्त में एक अँग्रेज़ पादरी जॉन मिशेल द्वारा किया गया। उन्होंने ऐसे पिण्डों के अस्तित्व की कल्पना की थी, जिनका **पलायन वेग** (देखें **बॉक्स-1**) प्रकाश के वेग के बराबर होगा। आइंस्टाइन द्वारा प्रतिपादित सामान्य सापेक्षता सिद्धान्त (1915 में प्रकाशित) ने उन कल्पनाओं को दृढ़ एवं गहन आधार प्रदान किया। इसके कुछ महीनों के बाद प्रकाशित एक पर्चे में कार्ल श्वार्ज़चाइल्ड ने आइंस्टाइन के सिद्धान्त को आगे बढ़ाते हुए ऐसे कुछ पिण्डों की भविष्यवाणी की जो इस तरह व्यवहार करेंगे। भौतिकशास्त्री जॉन व्हीलर ने 1967 में इस प्रकार के पिण्डों के लिए 'ब्लैक होल' शब्द का उपयोग किया। 1970 में भारतीय भौतिकशास्त्री सी.वी. विश्वेश्वर ने दर्शाया कि ब्लैक होल स्थिर होते हैं, यह एक ऐसा गुणधर्म है जो उनका अवलोकन करने की हमारी क्षमता के लिए महत्त्वपूर्ण है।

हमें कैसे पता कि ब्लैक होल हैं?

ब्लैक होल से बिल्कुल भी प्रकाश नहीं निकलता; दरअसल, इनको 'ब्लैक' कहने का कारण यही है! इसका मतलब यह हुआ कि हम उन्हें देख नहीं सकते,

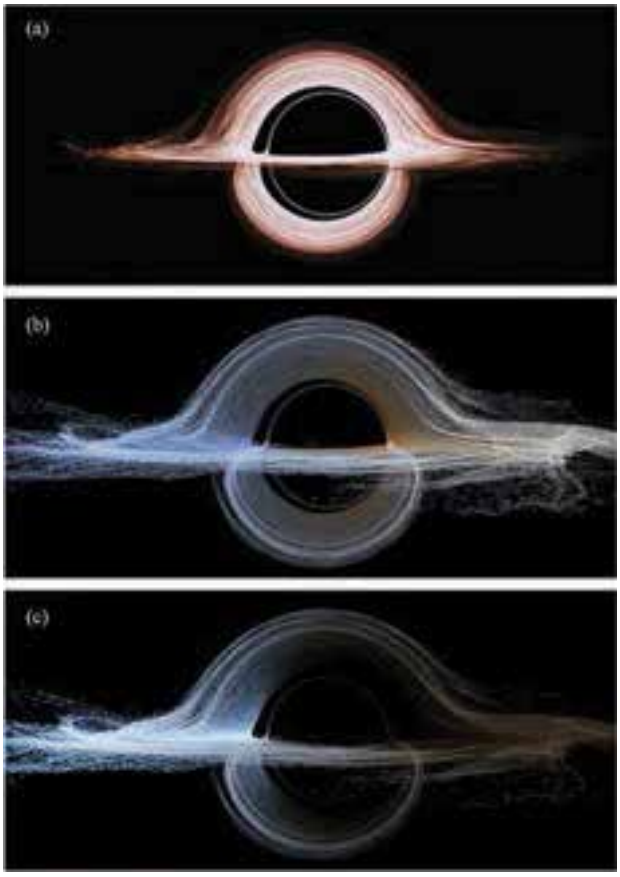
बॉक्स-1 : पलायन वेग क्या होता है?
किसी गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र में उपस्थित किसी वस्तु को उस क्षेत्र से पूर्णतया बाहर पलायन करने के लिए आवश्यक वेग पलायन वेग होता है। उदाहरणस्वरूप, हम जानते हैं कि पृथ्वी की सतह पर पलायन वेग 11.2 किमी/से. है। इसका मतलब हुआ कि पृथ्वी को छोड़ने के लिए किसी वस्तु (जैसे किसी कृत्रिम उपग्रह या क्रिकेट की गेंद) को 11.2 किमी/से. से अधिक वेग के साथ ऊपर फेंकना पड़ेगा; ताकि उसे पृथ्वी का गुरुत्वाकर्षण वापिस न खींच ले।

प्रत्यक्ष रूप से तो बिल्कुल भी नहीं; न ही पृथ्वी की किसी मानव-निर्मित प्रयोगशाला में ब्लैक होल बन रहे हैं। लेकिन, आकाश रूपी सर्वव्यापी प्रयोगशाला में ब्लैक होल के गुणधर्मों की खोज-बीन की कई रोचक सम्भावनाएँ हैं। ये निम्न प्रकार हैं :

(क) परिस्थिति-जन्य प्रमाण : इसने हमें ब्रह्माण्ड की कुछ आकाशगंगाओं के गर्भ में ब्लैक होल की उपस्थिति के संकेत दिए।

ब्लैक होल के आस-पड़ोस में गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र असाधारण रूप से प्रबल होता है (देखें **बॉक्स-2**)। इसलिए इसके निकट पड़ोस में आने वाला कोई भी पिण्ड (गैस, या तारे भी) अत्यधिक तेज़ गति से इसमें समा जाएगा, और ब्लैक होल और अधिक विशाल हो जाएगा। इसमें समाने वाले पिण्डों की गति के कारण एक घर्षण उत्पन्न होता है, जिसके चलते ब्लैक होल गर्म होकर बहुत अधिक तापमान पर पहुँच जाता है। चूँकि इस प्रक्रिया में प्रयुक्त गुरुत्वाकर्षण ऊर्जा बहुत ज़्यादा होती है, इसलिए इससे विकिरित शक्ति हमारे सूर्य से विकिरित शक्ति से कई ख़रब गुना ज़्यादा हो सकती है! इसलिए ये 'सर्वभक्षी' ब्लैक होल काफ़ी तेज़ चमकते भी हैं। वास्तव में जो चीज़ चमकती है वह उनके आस-पास का परिवेश होता है (न कि ख़ुद ब्लैक होल)।

ऐसे ब्लैक होल शक्तिशाली प्रकाश स्तम्भों जैसे होते हैं, जिन्हें बहुत अधिक दूरियों तक देखा जा सकता है। 1960 के दशक के काफ़ी शुरुआती टेलीस्कोप भी इन शक्तिशाली प्रकाश स्तम्भों को देख चुके थे। वास्तव में, हॉलीवुड की फिल्म 'Interstellar' में जिस 'Gargantua' (देखें **चित्र-1**) ने हमको अचम्भित किया था, वह बिल्कुल इसी प्रकार का एक वृद्धिमान, चमकदार, काल्पनिक ब्लैक होल था। इन महाविशाल ब्लैक होल्स (जिन्हें भौतिक विज्ञानी 'supermassive' कहते है) का द्रव्यमान $M_{\odot}$ की इकाई में मापा जाता है (इसका मान हमारे सूर्य के द्रव्यमान, 2×10^{30} किग्रा के बराबर है)। खगोलशास्त्री इस इकाई का उपयोग सूर्य से बड़े सभी पिण्डों के लिए करते हैं (**शब्दकोश** देखें)।[1, 2] इस प्रकार की शक्ति की व्याख्या केवल एक तरीक़े से की जा सकती है – कि महाविशाल ब्लैक होल के आस-पास उपस्थित प्रबल गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र का उपयोग हो रहा है। इस



चित्र-1 : हॉलीवुड की काल्पनिक-विज्ञान आधारित फिल्म 'Interstellar' में दिखाए गए 'Gargantua' नामक काल्पनिक वृद्धिमान महाविशाल ब्लैक होल की कम्प्यूटर-जनित तस्वीर। यह तस्वीर दर्शाती है कि इस प्रकार का कोई पिण्ड किसी प्रेक्षक को दृश्य-प्रकाश में कैसा दिखेगा। Double Negative Gravitational Renderer नामक कम्प्यूटर कोड में वह सब समाहित है जो भौतिकविद वृद्धिमान ब्लैक होल एवं उसके चारों ओर प्रबल गुरुत्वाकर्षण के बारे में जानते हैं।

Credits: James et al 2014. URL: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0264-9381/32/6/065001/meta;jsessionid=6234B192EDE9A0CD2BD9C6370D4643E1.c4.iopscience.cld.iop.org. License: CC-BY.

बॉक्स-2 : ब्लैक होल का गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र : किसी ब्लैक होल का अति-शक्तिशाली गुरुत्व बल (इसका वह गुण जो उसे अन्य तुलनीय द्रव्यमान पिण्डों से एक अलग पहचान देता है) केवल उनके निकट पड़ोस में ही अनुभव किया जा सकता है। चूँकि, अपने द्रव्यमान के हिसाब से ब्लैक होल काफ़ी छोटे आकार के होते हैं, इसलिए किसी वस्तु के लिए उनके अत्यन्त निकट पहुँचना भौतिक रूप से सम्भव है। उदाहरण के लिए यदि कल को हमारा सूर्य ब्लैक होल में बदल जाता है तो इसका समस्त द्रव्यमान लगभग 3 किमी त्रिज्या के एक गोले में सिमटकर रह जाएगा। अगर हम ऐसी स्थिति की कल्पना करें, तो पृथ्वी द्वारा अनुभव किए जाने वाले सूर्य के गुरुत्वाकर्षण बल में कोई बदलाव नहीं आएगा। सूर्य की वर्तमान त्रिज्या 695,700 किमी है, जो 3 किमी की तुलना में काफ़ी अधिक है। अतः आज, कोई वस्तु सूर्य के केन्द्र से निकटतम 695,700 किमी ही पहुँच सकती है (बशर्ते वह सूर्य की सतह को भेदकर उसमें प्रवेश न करे), जहाँ पर सूर्य का गुरुत्वाकर्षण बल अधिकतम होता है। अगर, सूर्य ब्लैक होल में बदल जाता है तो कोई पिण्ड इसके केन्द्र से मात्र कुछ किलोमीटर की दूरी तक पहुँच सकता है। इस दूरी पर वह पिण्ड 695,700 किमी की तुलना में लगभग 50 अरब गुना अधिक गुरुत्वाकर्षण बल का अनुभव करेगा (क्योंकि गुरुत्वाकर्षण बल दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है)। स्पष्ट है कि, ऐसे काल्पनिक 'सौर' ब्लैक होल के आस-पास (कुछ हज़ार किलोमीटर की दूरी पर भी) गुरुत्वाकर्षण बल असाधारण रूप से बहुत ज़्यादा होगा। इसलिए ब्लैक होल के निकट आने वाला कोई भी द्रव्य बिना किसी बाधा के उसमें समा जाएगा।

बॉक्स-3 : द्रव्यमान के आधार पर ब्लैक होल्स की पहचान

सौर-मण्डल का उदाहरण लेकर इस विधि को समझा जा सकता है। हम जानते हैं कि सौर-मण्डल में ग्रह, सूर्य के गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव में, लगभग वृत्ताकार कक्षा में, सूर्य के चारों ओर चक्कर लगाते रहते हैं। वृत्ताकार कक्षाओं एवं गुरुत्वाकर्षण बल की हमारी समझ केप्लर के नियम में सिमटी हुई है। इस नियम के अनुसार, नगण्य द्रव्यमान के एक परीक्षण कण (हमारे उदाहरण में ग्रह) की चाल का वर्ग, भारी पिण्ड के द्रव्यमान M (यहाँ सूर्य, जिसके चारों ओर परीक्षण कण चक्कर लगाता है) के समानुपाती होता है, एवं दोनों के बीच की दूरी के व्युत्क्रमानुपाती होता है:

$$v^2 = \frac{G\,M}{r}$$

अतः यदि परीक्षण कण की चाल एवं भारी द्रव्यमान से उसकी दूरी का मापन किया जा सकता है तो भारी पिण्ड के द्रव्यमान M की गणना की जा सकती है।

प्रमाण के फलस्वरूप, महाविशाल ब्लैक होल्स सम्बन्धी विचार खगोलभौतिकी की गाथाओं में काफ़ी मज़बूती से जम गए, हालाँकि इनके अस्तित्व के प्रत्यक्ष प्रमाण बहुत बाद में आए।

(ख) अपनी आकाशगंगा एवं अन्य दूरस्थ निहारिकाओं के केन्द्र में तारों की दीर्घवृत्ताकार कक्षाएँ : ब्लैक होल्स को ढूँढ़ने का दूसरा तरीक़ा केप्लर के नियम पर आधारित है। इसमें उन अदृश्य (स्याह) पिण्डों को ढूँढ़ना सम्मिलित है जिनके बारे में दर्शाया जा सके कि उनका द्रव्यमान इतना अधिक है कि वे ब्लैक होल ही होने चाहिए (देखें **बॉक्स-3**)। कई दशकों तक चले इस तलाशी अभियान में हमें आकाशगंगा में लगभग 20 ब्लैक होल मिले हैं, एवं इससे परे अन्य निहारिकाओं में कई सारे।[3]

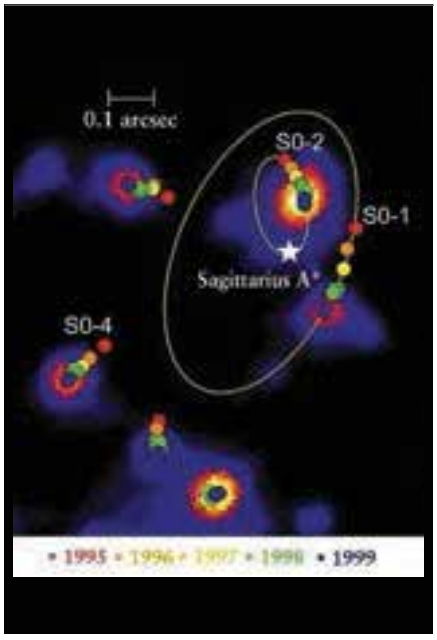
हमारी आकाशगंगा में एक अरब से अधिक तारे हैं। ये लगभग 26000 प्रकाश-वर्ष दूर हैं (**शब्दकोश** देखें)। इन तारों के बीच विस्तृत अन्तरिक्ष है जो धूल-कणों की थोड़ी-बहुत उपस्थिति के अलावा पूर्णतया रिक्त है। अलबत्ता, इन कणों की संख्या, इनके पीछे स्थित तारों के प्रकाश को मन्द

चित्र-2 : हाटू शिखर, नारकण्डा, हिमाचल प्रदेश से खींची गई हमारी आकाशगंगा की एक तस्वीर।

Credits: Ajay Talwar and Pankaj Sharma. License: © Ajay Talwar, reproduced with permission.

(कोहरे के समान) करने के लिए पर्याप्त होती है। अतः आकाशगंगा के जिन भागों में धूल के कणों का अत्यन्त सघन वितरण होता है, वे तस्वीरों में काले धब्बों जैसे प्रतीत होते है (देखें **चित्र-2**)। आकाशगंगा का केन्द्र भी चारों ओर से इस प्रकार के धूल-कणों से घिरा हुआ है। अतः अपनी ब्रह्माण्डीय-बस्ती के केन्द्र में झाँकने के लिए हमें प्रकाश के दृश्य-परास से बाहर का कोई प्रकाश चाहिए, जैसे अवरक्त (infra-red) प्रकाश। यदि, आकाश के एक ही हिस्से की फोटो लगातार कई साल तक खींची जाए तो हम कुछ तारों की गति की पहचान आकाश में उनकी स्थिति में विस्थापन के आधार पर कर सकते हैं। इन विस्थापनों का उपयोग उनकी चाल की गणना करने में भी किया जा सकता है।

वैज्ञानिकों की दो टीमों ने कई वर्षों तक आकाशगंगा के केन्द्र में स्थित तारों का अध्ययन उपरोक्त तरीक़े से किया है।[4, 5] इनमें से एक टीम का नेतृत्व कैलिफ़ोर्निया यूनिवर्सिटी, लॉस एंजेलेस (यूएसए) की वैज्ञानिक एंड्रिया गेज़ कर रही हैं, और दूसरी



चित्र-3 : आकाशगंगा के केन्द्र में उपस्थित ब्लैक होल। रंगीन धब्बे तारों को दर्शा रहे हैं (सन् 1999 में)। वृत्ताकार पथ, सन् 1995,1996,1997 में कुछ तारों की स्थिति प्रदर्शित कर रहे हैं, अलग-अलग वर्षों को अलग-अलग रंग से अंकित किया गया है (संकेतिका देखें)। दीर्घवृत्ताकार पथ, दो तारों S0-1 एवं S0-2 की स्थिति को दर्शा रहे हैं, उनकी स्थिति में परिवर्तन के मापित मानों के आधार पर उनके पथ की गणना की गई है। सफ़ेद तारा एक अदृश्य पिण्ड की स्थिति को बताता है, गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव द्वारा तारों की गति के लिए इसका वहाँ उपस्थित होना लाज़मी है। ऊपर दिखाई गई रेखा इस तस्वीर के कोणीय पैमाने को प्रदर्शित करती है (एक अच्छे अनुमान के लिए आप इसकी तुलना चन्द्रमा के आकार 30 आर्कमिनट से कर सकते हैं)। आकाशगंगा के केन्द्र (हमसे 26000 प्रकाश-वर्ष दूर) पर : 0.1 आर्कसेकंड = 4.6 प्रकाश-दिवस।

Credits: These images/animations were created by Prof. Andrea Ghez and her research team at UCLA from data sets obtained with the W. M. Keck Telescopes. URL: http://www.galacticcenter.astro.ucla.edu. License: CC-BY.

टीम का नेतृत्व मैक्स प्लांक इंस्टिट्यूट ऑफ़ एक्स्ट्राटेरेस्ट्रियल फिजिक्स, जर्मनी के ग़ाइन्हार्ट गेंज़ेल कर रहे हैं। उनके द्वारा सावधानीपूर्वक किए गए शोध ने बताया है कि उनमें से कुछ तारे 1500 किमी/से. से भी अधिक चाल से चल रहे हैं एवं उनका कक्षीय आवर्तकाल 20 साल के लगभग है (देखें **चित्र-3**)।

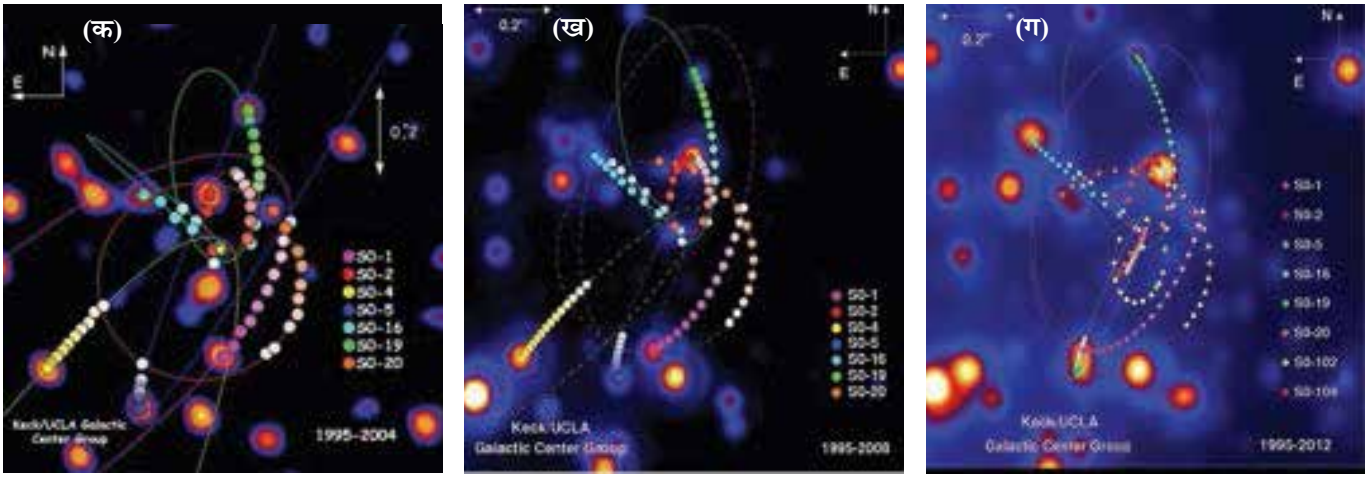
यह मानते हुए कि कोई भारी (लेकिन अदृश्य) पिण्ड उन तारों को अपनी-अपनी कक्षा में परिक्रमा करवा रहा है, उस भारी पिण्ड का द्रव्यमान सूर्य से 40 लाख गुना ज़्यादा आकलित किया गया! उस अदृश्य पिण्ड की स्थिति का निर्धारण इस तथ्य के आधार पर किया जा सकता है कि यह उन सभी तारों की प्रेक्षित दीर्घवृत्ताकार कक्षाओं की उभयनिष्ठ नाभि होगा। नाभि के निकटतम स्थित तारे को S0-16 कहा गया है; नाभि से S0-16 की न्यूनतम दूरी (देखें **चित्र-4**) उस अदृश्य पिण्ड के आकार की अधिकतम सीमा बताती है। यदि अदृश्य पिण्ड का आकार इस न्यूनतम दूरी से अधिक होता तो हमें S0-16 एवं उस अदृश्य पिण्ड की टक्कर के प्रमाण मिलते। इस प्रकार की किसी टक्कर का नहीं होना बताता है कि वह भारी अदृश्य पिण्ड काफ़ी कम स्थान घेरता है। इससे सिद्ध होता है कि वह पिण्ड वास्तव में एक ब्लैक होल ही है।

इस विधि का उपयोग अन्य निहारिकाओं में ब्लैक होल ढूँढ़ने के लिए नहीं किया जा सकता, क्योंकि हमारे 'निकटतम' पड़ोसी भी हमसे कुछ सौ मिलियन प्रकाश-वर्ष दूर हैं। इन दूरियों पर हम अपने सर्वोत्कृष्ट टेलिस्कोप की सहायता से भी एक-एक तारे को अलग-अलग नहीं देख सकते। इस पर काम करने का एक तरीक़ा है – अन्य निहारिकाओं में स्थित तारों की परमाण्विक रेखाओं का प्रेक्षण। इन रेखाओं का नीले या लाल (जो इस बात पर निर्भर करता है कि तारे हमसे दूर जा रहे है या पास आ रहे है) की तरफ डॉप्लर-विस्थापन (**बॉक्स-4** देखें) होता है। हालाँकि आज जो उपकरण हमारे पास हैं, वे स्पेक्ट्रोग्राम में इन रेखाओं को अलग-अलग नहीं दर्शा सकते; लेकिन बहुत सारी रेखाओं के मिश्रण का फैलाव, इन रेखाओं को निर्मित करने वाले कई सारे तारों की चाल में विविधता का मात्रात्मक आकलन प्रदान करता है। जब तारों की चाल अतिविशाल केन्द्रीय ब्लैक होल के द्रव्यमान के सीधे समानुपाती होती है, तब केप्लर नियम द्वारा उसके लगभग द्रव्यमान का आकलन किया जा सकता है।

बॉक्स-4 : डॉप्लर विस्थापन क्या होता है?

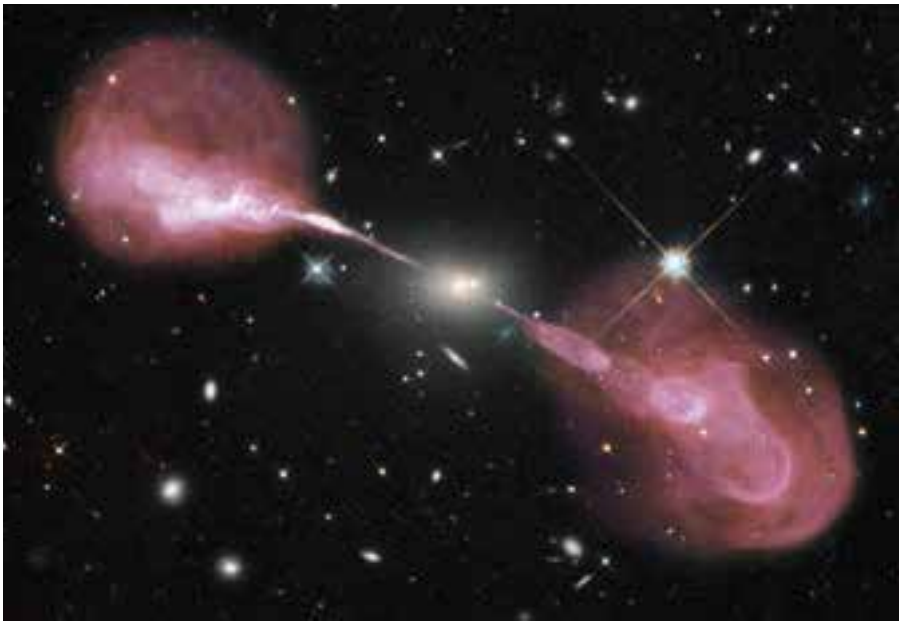
जब किसी तरंग का स्रोत प्रेक्षक की ओर (या प्रेक्षक से दूर) गति करता है तो तरंग की आवृत्ति बढ़ी हुई (या घटी हुई) प्रतीत होती है। इस प्रभाव को भौतिक विज्ञानी क्रिश्चियन डॉप्लर के नाम पर डॉप्लर विस्थापन के नाम से जाना जाता है जिन्होंने इसे सबसे पहले प्रतिपादित किया था। इसका एक जाना-माना उदाहरण है – चलती हुई गाड़ी के पास आने पर (या दूर जाने पर), एक प्रेक्षक को उसके हॉर्न की आवृत्ति में वृद्धि (या कमी) प्रतीत होती है। बिल्कुल ऐसा ही प्रभाव, प्रकाश के साथ भी घटित होता है जब कोई प्रकाश स्रोत प्रेक्षक के पास आ रहा होता है या दूर जा रहा होता है; हालाँकि प्रकाश के लिए यह प्रभाव, चाल के केवल बहुत अधिक मानों पर तथा/या तरंग दैर्ध्य के सटीक मापन से ही प्रेक्षणीय होता है।

(ग) स्थान-समय में तरंगें : 2015 की एक महत्त्वपूर्ण खोज में वैज्ञानिकों ने स्थान-समय में ब्लैक होल्स द्वारा उत्पन्न की गई तरंगों के माध्यम से उनकी उपस्थिति को दर्ज किया (जिनका द्रव्यमान सूर्य के द्रव्यमान का 8-60 गुना था)।[6] इस प्रयोग के लिए गुरुत्वाकर्षण तरंगों के 6 मापन लिए गए (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory या LIGO द्वारा), जो शत-प्रतिशत आइंस्टाइन के सिद्धान्त



चित्र-4 आकाशगंगा के केन्द्र में स्थित तारे बाहर की ओर धकेले जाते हैं। तस्वीर में दिए गए तीन पैनल, तीन अलग-अलग समय अवधियों, क्रमशः **(क)**1995-2004,**(ख)**1995-2008 और **(ग)**1995-2012, में इन तारों के मापन को दर्शाते हैं। प्रत्येक तस्वीर में तारों की नवीनतम स्थिति को रंगीन घेरों के रूप में देख सकते हैं, जो तारों की वास्तविक इन्फ्रा-रेड तस्वीरें हैं। स्पष्टता के लिए, इन तारों की समय के साथ बदलती हुई स्थितियों को रंगीन घेरों के रूप में चित्रित किया गया है। समय के साथ इनकी बदलती स्थितियों को इन घेरों के रंग की तीव्रता को बढ़ाते हुए दर्शाया गया है। कुछ तारों को, पैनल **(क)** के केन्द्र में पीले तारे द्वारा निर्दिष्ट एक उभयनिष्ठ बिन्दु के चारों ओर दीर्घवृत्ताकार कक्षा बनाते हुए देखा जा सकता है। S0-4 (पीले रंग से निर्दिष्ट) की कक्षा एवं स्थिति को पैनल **(ग)** में नहीं दिखाया गया है, लेकिन उसे केन्द्र से दूर जाते हुए स्पष्ट रूप से देखा जा सकता है।

Credits: These images /animations were created by Prof. Andrea Ghez and her research team at UCLA from data sets obtained with the W. M. Keck Telescopes.
URL: http://www.galacticcenter.astro.ucla.edu. License: CC-BY.



चित्र-5 : वृद्धिमान महाविशाल ब्लैक होल हरक्यूलस-ए। 2 अरब प्रकाश-वर्ष दूर स्थित इस ब्लैक होल की रेडियो-इमेज प्लाज्मा की जुड़वाँ-पिचकारियाँ प्रदर्शित करती है (जिन्हें कृत्रिम रूप से रंगीन बनाई गई तस्वीर में गुलाबी रंग से दर्शाया गया है) जो लगभग एक मिलियन प्रकाश-वर्ष दूर तक जाती है। इस रेडियो-इमेज को क्षेत्र की दृश्य-प्रकाश इमेज (जो महाविशाल ब्लैक होल की निहारिका को प्रदर्शित करती है) के ऊपर रखकर एक मिश्रित तस्वीर बनाई गई है।

Credits: NASA, ESA, S. Baum & C. O'Dea (RIT), R. Perley & W. Cotton (NRAO/AUI/NSF), and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA). URL: http://www.nrao.edu/pr/2012/herca/. License: CC-BY.

द्वारा प्रतिपादित अनुमानों, और उसके बाद के शोध कार्यों (सी.वी. विश्वेश्वर के शोध कार्य सहित) के संगत थे।

महाविशाल ब्लैक होल का निर्माण कैसे होता है?

हम इस बात का ज़िक्र पहले ही कर चुके हैं कि अपने जीवन के अन्त में भारी तारे अपने पीछे ब्लैक होल्स छोड़ जाते हैं। ब्लैक होल्स के विलय द्वारा अन्तरिक्ष में उत्पन्न तरंगों को तीसरी बार दर्ज किया जा चुका है – जो इस बात की ओर संकेत करता है कि ब्रह्माण्ड में ब्लैक होल्स का विलय काफ़ी सामान्य घटना है। क्या निहारिकाओं के केन्द्र में पाए जाने वाले 10 लाख $M_\odot$ से भी ज़्यादा भारी ब्लैक होल, इस प्रकार के बारम्बार विलयों का परिणाम हैं? चलिए, इस बात की जाँच करते हैं।

गणनाओं से पता चलता है कि तारों की मृत्यु के फलस्वरूप बने सबसे भारी ब्लैक होल भी 100 $M_\odot$ से अधिक भारी नहीं हो सकते। अभी तक प्रेक्षित (LIGO द्वारा) सबसे भारी ब्लैक होल लगभग 60 $M_\odot$ का है। तब, यह साफ़ है कि तारों की मृत्यु के बाद बचे अवशेषों का विलय होकर एक महाविशाल ब्लैक होल बनने में अकल्पनीय रूप से ज़्यादा समय लगेगा।

लेकिन, अचरज की बात यह है कि हमें काफ़ी संख्या में वृद्धिमान महाविशाल ब्लैक होल (जिन्हें **क्वासर** भी कहते हैं) ऐसे भी मिले हैं, जिनकी जाँच-पड़ताल करने पर पता चला है कि उनका अस्तित्व तब से है जब ब्रह्माण्ड की उम्र एक अरब साल से भी कम थी (फ़िलहाल ब्रह्माण्ड की उम्र 13.8 अरब वर्ष है)। इन ब्लैक होल्स का द्रव्यमान न सिर्फ़ दस लाख $M_\odot$, बल्कि एक अरब $M_\odot$ तक भी जान पड़ता है! ज़ाहिर है, तारों की मृत्यु से बन सकने वाले सबसे बड़े ब्लैक होल को भी बारम्बार विलयों द्वारा एक अरब $M_\odot$ का विशाल ब्लैक होल बनने के लिए एक अरब वर्ष का समय पर्याप्त नहीं होगा। इसलिए, लोगों का विश्वास अब इस अवधारणा पर होता जा रहा है कि ब्रह्माण्ड के शुरुआती दिनों में अत्यधिक बड़े गैस के बादल सीधे ही लगभग 10000 $M_\odot$ के ब्लैक होल बीजों में बदल गए होंगे।[7] यही ब्लैक होल बीज एक-दूसरे में विलय द्वारा महाविशाल ब्लैक होल बन गए होंगे।

महाविशाल ब्लैक होल अपने आस-पड़ोस में चक्कर काट रही किसी भी वस्तु को निगलकर

चित्र-6 : विलयशील निहारिकाओं के उदाहरण : (क) विलय की प्रक्रिया के दौरान निहारिकाओं NGC2207 एवं IC163 का युग्म **(ख)** एक विलयशील निहारिका - NGC2623; विलय प्रक्रिया की प्रगति के मामले में दाईं ओर प्रदर्शित तंत्र, बाईं ओर के तंत्र से काफ़ी आगे जा चुका है। इसलिए, दाईं ओर के तंत्र में देखा जा सकता है कि दो में से एक मूल निहारिकाओं के सर्पिलाकार की एक भुजा खींचकर अलग कर दी गई है और विलयशील संकुल एकल-निहारिका प्रतीत हो रहा है हालाँकि थोड़ा विकृत स्वरूप है)। अब ऐसा अपेक्षित है कि उनके केन्द्र में उपस्थित ब्लैक होल अन्ततः एक-दूसरे में विलय हो जाएँगे।

Credits: Hubble Space Telescope, NASA. URL: (a) http://hubblesite.org/image/1627/news_release/2004-45 & (b) https://apod.nasa.gov/apod/ap121019.html. License: with permission for free use.

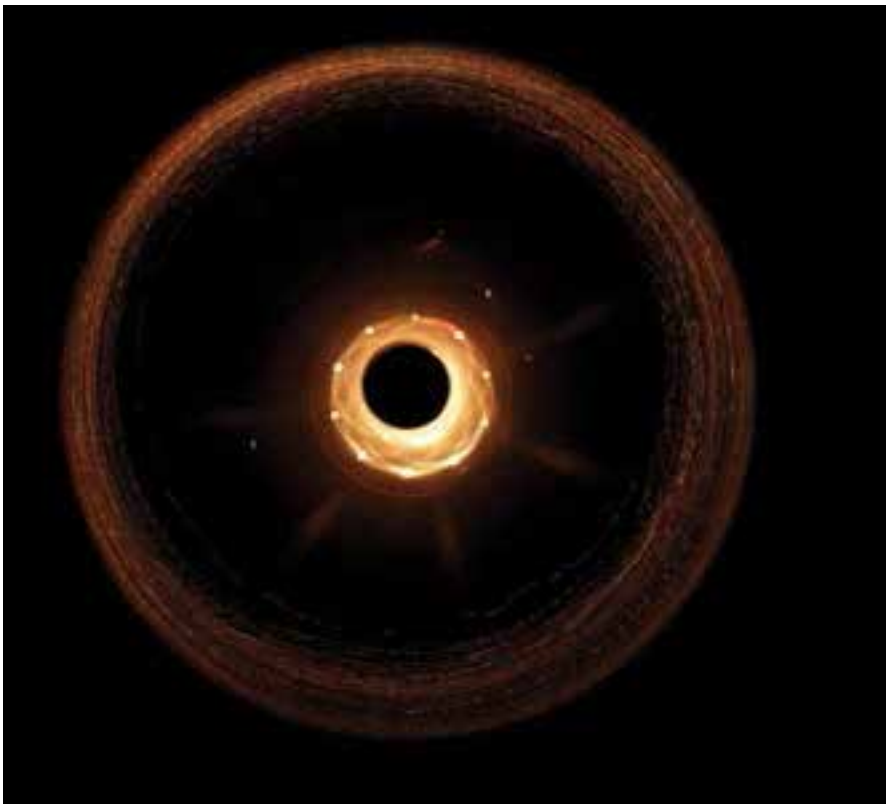
शब्दकोश :

प्रकाश वर्ष : खगोलभौतिकी में दूरी की एक इकाई, जो प्रकाश द्वारा एक वर्ष में तय की गई दूरी के बराबर होती है (~ 95 खरब किलोमीटर)

आर्कसेकंड : खगोलविज्ञान में, आकाशीय पिण्डों के आकार (या पिण्डों के बीच अलगाव) को (किलोमीटर वग़ैरह की बजाय) कोण में मापना आम बात है; सामान्य भौतिक इकाइयों में ऐसे मापन करना एक जटिल प्रक्रिया है, क्योंकि उनमें कई अन्य प्रकार की जानकारियों की आवश्यकता पड़ती है। आकाश में पिण्डों के 'कोणीय माप' एवं 'कोणीय अलगाव' को सीधे-सीधे एक फोटो से मापा जा सकता है, और यदि माप एवं अलगाव बहुत ज़्यादा है तो उनको प्रत्यक्ष प्रेक्षण से भी मापा जा सकता है।

यदि कोई पिण्ड आँखों पर 1 डिग्री का कोण बनाता है, तो उसका माप एक डिग्री और यदि वह आँखों पर 1 सेकंड का कोण बनाता है तब उसके कोणीय माप को 1 आर्कसेकंड कहा जाता है। उदाहरण के लिए, चाँद का कोणीय माप लगभग 31 आर्कमिनट है।

$M_{\odot}$ **:** यह सूर्य के द्रव्यमान को व्यक्त करता है, जो 2×10^{30} किग्रा है। यह द्रव्यमान की एक इकाई है जिसे खगोलविज्ञानी सूर्य से बड़े सभी पिण्डों के द्रव्यमान को व्यक्त करने में प्रयुक्त करते हैं।



और बड़े होते गए होंगे। इनमें से कई वृद्धिमान ब्लैक होल्स को प्लाज़्मा की जुड़वाँ-पिचकारियाँ (twin-jets) छोड़ने के लिए जाना जाता है जो रेडियो-प्रकाश में चमकती हैं; लगभग 15% मामलों में जुड़वाँ-पिचकारियों की चाल प्रकाश की चाल के काफ़ी क़रीब होती है, और ये बाह्य अन्तरिक्ष में कई लाख प्रकाश वर्ष दूर पहुँचती हैं (देखें **चित्र-5**)।

महाविशाल ब्लैक होल, अन्य ब्लैक होल्स (उदाहरणस्वरूप, LIGO द्वारा खोजे गए अपेक्षाकृत छोटे ब्लैक होल्स) के साथ संलयित होकर भी बड़ा होना जारी रख सकते हैं, यदि उनकी निहारिकाएँ (जिनमें वे ब्लैक होल हैं) साथ आ जाएँ। वास्तव में, इस बात के काफ़ी पुख़्ता प्रमाण हैं कि अकसर निहारिकाओं का विलय होकर बड़ी निहारिकाएँ बनती रहती हैं (देखें **चित्र-6**)। ऐसी अन्तर्क्रियाओं की भौतिकी का कम्प्यूटर सिम्युलेशन करने पर पता चलता है कि विलयशील निहारिकाओं के केन्द्रीय ब्लैक होल अन्ततः एक-दूसरे में मिल जाएँगे। ऐसा अनुमान है कि ऐसे विलय के फलस्वरूप अन्तरिक्ष में तरंगें उत्पन्न होती हैं, और उम्मीद है कि इन तरंगों को भविष्य के गुरुत्वाकर्षण-तरंग संसूचक यंत्रों में दर्ज किया जाएगा।

क्या ब्लैक होल मरते हैं?

सामान्य समझ से ऐसा प्रतीत होता है कि ब्लैक होल स्थाई होते होंगे क्योंकि जो भी इसमें समा जाता है, कभी बाहर नहीं आता। यह सामान्य समझ 70 के दशक के मध्य तक की वैज्ञानिक समझ से मेल खाती थी। फिर, 1974 में स्टीफन हॉकिंग ने अचरज में डाल देने वाली एक परिकल्पना प्रस्तुत की। आइंस्टाइन के सामान्य सापेक्षता सिद्धान्त और क्वांटम सिद्धान्त को एक साथ जोड़कर हॉकिंग ने पता लगाया कि ब्लैक होल शत-प्रतिशत ब्लैक नहीं हो सकता। क्वांटम प्रभावों के कारण यह विकिरण उत्सर्जित करेगा और परिणामस्वरूप द्रव्यमान की हानि होगी। यह भविष्यवाणी की गई कि ब्लैक होल का द्रव्यमान जितना कम होगा, विकिरण उतना ही ज़्यादा चमकदार होगा। इसका मतलब हुआ कि धीरे-धीरे विकिरित हो रहा ह्रासमान ब्लैक होल, अन्ततः एक अत्यधिक तीव्र चमक के साथ ग़ायब हो जाएगा। हम जिन खगोलीय

ब्लैक होल्स (छोटे व महाविशाल दोनों) को जानते हैं, उनके लिए यह विकिरण (**हॉकिंग रेडिएशन**) इतनी दुर्बल होती है कि हम अपने अत्याधुनिक उपकरणों की सहायता से भी दर्ज नहीं कर सकते। जहाँ एक ओर, हाल ही में किए गए एक दावे के अनुसार प्रयोगशाला में निर्मित कृत्रिम ब्लैक होल से उत्सर्जित विकिरणों का मापन सम्भव है, वहीं दूसरी ओर खगोलीय हॉकिंग विकिरण आज भी केवल एक अप्रेक्षित सैद्धान्तिक अनुमान है।[8]

समापन

हम केवल उन्हीं महाविशाल ब्लैक होल्स को जानते हैं जो निहारिकाओं के केन्द्र में पाए जाते हैं। यह हमेशा चमत्कारों से भरे रहे हैं। पिछले दशक में जो सबसे अद्भुत बात हमें पता लगी है, वह है – महाविशाल ब्लैक होल्स की वृद्धि उन निहारिकाओं की वृद्धि के साथ-साथ चलती है जिनमें वे उपस्थित होते हैं।[9] यह बात हमारी अपनी आकाशगंगा के केन्द्र में उपस्थित महाविशाल ब्लैक होल के लिए भी सत्य हो सकती है, जो स्वयं आकाशगंगा की तुलना में अत्यन्त छोटा है। हालाँकि, चमकने और बढ़ने की प्रक्रिया के दौरान, इस ब्लैक होल ने आकाशगंगा के विकास में भी महत्त्वपूर्ण भूमिका निभाई है (कई अन्य प्रक्रियाओं के अलावा हमारे सूर्य एवं इसके ग्रहीय तंत्र के जन्म में)। यह क्यों और कैसे होता है, या फिर होता भी है या नहीं, इसकी समझ, ब्लैक होल की कहानी को और अधिक स्पष्ट बनाने के लिए आवश्यक है। अतः ये सवाल आज भी खगोलविज्ञानियों के लिए पहेली बने हुए हैं।

मुख्य बिन्दु

- ब्लैक होल अन्तरिक्ष का वह भाग होते हैं जो इतना प्रबल गुरुत्वाकर्षण बल आरोपित करते हैं कि प्रकाश भी उनसे पलायन नहीं कर सकता।
- शुरुआती ब्रह्माण्ड में गैस के अत्यधिक विशाल बादलों के एक-दूसरे में समा जाने से कुछ पिण्ड बने, और ऐसा प्रतीत होता है कि इन पिण्डों ने ब्लैक होल्स के जन्म में बीजों की भूमिका निभाई।
- ब्लैक होल के तुरन्त पड़ोस से होने वाले प्रकाश उत्सर्जन के कारण हमें ब्लैक होल के अस्तित्व का भान काफ़ी पहले से था।
- आज, ब्लैक होल्स को निहारिकाओं के केन्द्र में तारों की दीर्घवृत्ताकार कक्षाओं से, या अन्तरिक्ष में उनके द्वारा उत्पन्न की गई तरंगों से खोजा जाता है।
- यह काफ़ी रोचक प्रतीत होता है कि विकिरण के माध्यम से द्रव्यमान-क्षय होने के कारण ब्लैक होल अन्ततः ग़ायब हो सकते हैं।

Acknowledgements: The author is grateful to Ajay Talwar for supplying his photograph of the Milky Way, and to the Keck/UCLA Galactic Center Group for their public domain images. Extensive use has been made of the NASA Extragalactic Data Base, NASA ADS, and the astronomical images published by NASA and Wikipedia.

Note: Image used in the background of the article title – An artist's conception of a supermassive black hole. Credits: NASA/JPL-Caltech. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_Holes_-_Monsters_in_Space.jpg. License: CC-BY.

References:

1. Thorne K & Norton W (2014). Science of Interstellar.
2. von Tunzelmann J, Franklin P & Thorne K S (2015). Class & Q Gravity, 32: 6.
3. Shastri P (2017). Resonance, 22: 237.
4. Ghez A (2008). Astrophys J, 689: 1044.
5. Genzel R (2010). Rev. Mod. Physics, 82: 3121.
6. Pai A. (2017). Physics News, 47: 17.
7. Agarwal B et al. (2016). Mon Not R. Astr. Soc, 460: 4003.
8. Intagliata C (2016). Model black hole re-creates Stephen Hawking prediction. Scientific American Podcast. URL:https://www.scientificamerican.com/podcast/episode/model-black-hole-re-creates-stephen-hawking-prediction/.
9. Ferrarese L & Merritt D (2000). Astrophys. J. Lett, 539: L9.

प्रज्वल शास्त्री भारतीय ताराभौतिकी संस्थान, बेंगलूरु में तारा-भौतिकशास्त्री हैं। इनकी प्रमुख शोध रूचि अतिभारी ब्लैक होल्स की अनुभवजन्य जाँच-पड़ताल में है। वह वैज्ञानिक सोच को विकसित करने की आवश्यकता को समझती हैं और ब्रह्माण्ड के प्रति अपने आकर्षण को सभी आयु वर्ग के व्यक्तियों के साथ साझा करने के लिए खगोलभौतिकी का उपयोग करती हैं। उनसे prajval.shastri@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है।

अनुवाद : कान्हाराम **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर** : कामिनी उपाध्याय

एक किलोग्राम का सटीक द्रव्यमान : ला ग्राण्ड के

हम लोग सामान ख़रीदने अकसर किराने की दुकान पर जाते हैं और आए दिन सामान या खाद्य पदार्थ के मूल्य सुनते रहते हैं, जैसे टमाटर 15 रुपए प्रति किलोग्राम। वैसे तो हम जानते हैं कि किलोग्राम द्रव्यमान का एक मानक मात्रक (unit) है, पर क्या आपने कभी सोचा है कि इसे मापा कैसे जाता है? दुनिया भर की किराना दुकानों में प्रयोग किए जाने वाले बाँटों का माप एक बराबर कैसे होता है?

ऐसे ही सवालों के जवाब में 1889 में आयोजित माप-तौल के पहले महासम्मेलन में प्लैटिनम-इरीडियम के एक बेलन को किलोग्राम का अन्तर्राष्ट्रीय प्रतिरूप (IPK- International Prototype of the Kilogram) घोषित किया गया। तब से इसी बेलन के सटीक द्रव्यमान को एक किलोग्राम के रूप में परिभाषित किया गया है। इस बेलन की लम्बाई और व्यास दोनों का ही मान 39.17 मिमी है। इसे अकसर 'ला ग्राण्ड के' (Le grand K) भी कहा जाता है।

'ला ग्राण्ड के' को नमी से होने वाले क्षरण और धूल से बचाने के लिए इसे पेरिस, फ्रांस के एक जलवायु-नियंत्रित कमरे में शीशे के तीन परत वाले हवाबन्द घण्टीनुमा मर्तबान में रखा गया है। कमरे को तीन संरक्षकों की उपस्थिति में ही खोला जा सकता है। प्रत्येक संरक्षक के पास अपनी विशेष चाबी होती है। सुसंगति बनाए रखने के लिए और राष्ट्रीय मानक के तौर पर उपयोग के लिए इस बेलन की 40 एक-जैसी प्रतिकृतियाँ भारत समेत अन्य देशों को भी प्रदान की गई थीं। द्रव्यमान में किसी प्रकार का अन्तर पता करने के लिए, पिछली शताब्दी में इन प्रतियों का 'ला ग्राण्ड के' के साथ तीन बार मिलान हुआ है और इनके द्रव्यमान की आपस में तुलना की गई है और जाँच भी की गई है। ऐसे प्रत्येक मौक़े पर, 'ला ग्राण्ड के' और इसकी प्रतिकृतियों में दूषण की सम्भावनाओं को कम करने के लिए इन्हें पहले एल्कोहॉल और ईथर से और फिर भाप से साफ़ किया गया है। तो समस्या का निवारण हो गया, है न?

'ला ग्राण्ड के' का उपयोग राष्ट्रीय मानकों के रूप में किया जाता है। सबसे दाएँ मौजूद प्लैटिनम-इरीडियम की बेलनाकार वह प्रतिकृति है जो यूएसए में किलोग्राम के राष्ट्रीय मानक के रूप में उपयोग की जाती है (इसे किलोग्राम क्रमांक 20 कहा जाता है)। सबसे बाएँ, शीशे के मर्तबान में जो बेलन है (जिसे किलोग्राम क्रमांक 4 कहा जाता है) किलोग्राम क्रमांक 20 की प्रतिकृति है। इसे द्वितीयक मानक के रूप में उपयोग किया जाता है।

Credits: National Institute of Standards and Technology.
URL:https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MassStandards_005.jpg. License: CC-BY.

नहीं, बिल्कुल नहीं। इतनी सावधानियों के बावजूद, 1992 में किए गए मापन ने दर्शाया कि 'ला ग्राण्ड के' अपनी प्रतिकृतियों से 50 माइक्रोग्राम हल्का था (आँख की पलक पर मौजूद एक बाल के वज़न के बराबर)। भले ही दैनिक जीवन में उपयोग की जाने वाली वस्तुओं की ख़रीदारी के सन्दर्भ में वज़न का यह अन्तर मायने न रखता हो, पर चिकित्सा और इंजीनियरिंग जैसे क्षेत्रों में वज़न का यह अन्तर अस्वीकार्य है। इन क्षेत्रों में माप की परिशुद्धता काफ़ी मायने रखती है। एक महत्त्वपूर्ण बात यह है कि किलोग्राम अन्तर्राष्ट्रीय प्रणाली का एक आधारभूत मात्रक है। अर्थात, बाकी के मात्रक जैसे न्यूटन, जूल और पास्कल, आंशिक रूप में किलोग्राम से व्युत्पन्न (derived) हैं। अत: इस मात्रक किलोग्राम के माप में किसी प्रकार की त्रुटि का असर काफ़ी दूर तक होगा।

तो इस समस्या का समाधान कैसे किया जाए? यह जानने के लिए पृष्ठ 12 देखें।

सिद्धार्थ सेतलूर कक्षा बारहवीं के विद्यार्थी हैं और एक ग़ैर-लाभकारी 'पियर-टू-पियर लर्निंग' प्लेटफॉर्म (www.vlearn.xyz) के संस्थापक हैं। सिद्धार्थ का लक्ष्य सैद्धान्तिक भौतिकशास्त्र और गणित के क्षेत्र में अकादमिक कैरियर बनाना है। सिद्धार्थ से siddharth.setlur@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है।

चित्रा रवि अज़ीम प्रेमजी विश्वविद्यालय, बेंगलूरु में कार्यरत हैं।

अनुवाद : कुमार गन्धर्व मिश्रा **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** कामिनी उपाध्याय

क्या हैं श्वेत वामन तारे?

हबल टेलिस्कोप से पिक्सिस (Pyxis) नामक दक्षिणी तारा-मण्डल के ग्रहीय नेबूला NGC 2818 की एक तस्वीर।
Credits: NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA).
URL: https://www.flickr.com/photos/nasahubble/24610628508. License: CC-BY.

हमें मालूम है कि जब कोई विशाल तारा पिचकता है, तब यह एक सुपरनोवा में परिवर्तित हो जाता है। सुपरनोवा अन्ततः न्यूट्रॉन तारे या ब्लैकहोल में तब्दील हो जाता है। लेकिन, ऐसे विशाल तारे कुल तारों में से सिर्फ़ 3% ही हैं। तो, बाकी के 97% मध्यम श्रेणी तारों (जैसे हमारा सूरज) का जब ईंधन समाप्त हो जाता है, तब उनका क्या होता है?

अनुमान है कि आज से करीब 600 करोड़ वर्षों बाद सूर्य से हाइड्रोजन समाप्त हो जाएगी। जब ऐसा होगा, तब सूर्य में उपस्थित हीलियम का भारी तत्वों में संलयन (fusion) शुरू हो जाएगा। ऐसा होते समय, सूर्य की बाहरी परतें झड़ती जाएँगी और एक भव्य ग्रहीय नेबूला का निर्माण होगा। इस प्रक्रिया के समाप्त होने के पश्चात तारे का सिर्फ मूल अन्तर्भाग ही बचेगा- जिसे श्वेत वामन तारा कहा जाता है।

रोचक बात यह है कि किसी वामन तारे का द्रव्यमान अपने मूल तारे (जिससे यह वामन तारा बना था) के द्रव्यमान का आधा बरक़रार रहता है, जबकि इसका आकार मूल तारे के आकार के 10 लाख वें हिस्से से भी छोटा होता है। उदाहरण के लिए, अग़र हमारा सूर्य वामन तारे में तब्दील हुआ, तो सूर्य का बचा हुआ आधा द्रव्यमान पृथ्वी के बराबर आकार में घनीभूत हो जाएगा। मतलब यह कि वामन तारों का घनत्व बहुत आधिक होता है। इसके एक चम्मच पदार्थ का भार लगभग 4000 किलोग्राम होता है- एक हाथी के बराबर। इससे यह भी पता चलता है कि किसी वामन तारे का गुरुत्वाकर्षण काफ़ी प्रभावशाली होता है। इसका मान पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण से 100,000 गुना से भी अधिक।

वामन तारा बेहद गर्म भी होता है। हमारे सूर्य से लगभग 40 गुणा अधिक गर्म। अलबत्ता, किसी नाभिकीय क्रिया की अनुपस्थिति में यह काफ़ी स्थिर भी होता है। कोई वामन तारा विकिरण (रेडिएशन) के सहारे ही ऊष्मा गँवा सकता है, जो एक धीमी प्रक्रिया है। इतनी धीमी कि वामन तारे को अपनी सारी ऊष्मा गँवाने में और अपने तापमान को आसपास के वातावरण के बराबर करने में कई ख़रब वर्ष लगेंगे।

ईशान घोष अशोका विश्वविद्यालय, हरियाणा में स्नातक तृतीय वर्ष के विद्यार्थी हैं। जेनेटिक इंजीनियरिंग और वैज्ञानिक पत्रकारिता में समान रुचि रखने के साथ-साथ, वह जीवविज्ञान (प्रमुख विषय) और मीडिया अध्ययन एवं पत्रकारिता (सहायक विषय) की पढ़ाई कर रहे हैं। ईशान से ishaan.ghose_ug20@ashoka.edu.in पर सम्पर्क किया जा सकता है।

अनुवाद : कुमार गन्धर्व मिश्रा **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** कामिनी उपाध्याय

एक किलोग्राम का सटीक द्रव्यमान : 'ला ग्राण्ड के' का प्रतिस्थापन

1889 से ही हम किलोग्राम के अन्तर्राष्ट्रीय प्रोटोटाइप (IPK) के रूप में प्लैटिनम-इरीडियम बेलन का इस्तेमाल करते आए हैं – जिसे 'ला ग्राण्ड के' के नाम से भी जाना जाता है। लेकिन, कुछ बारीक मापन में 'ला ग्राण्ड के' के द्रव्यमान में गड़बड़ियाँ पाई गई हैं।

इस समस्या का हल किलोग्राम को किसी ऐसे भौतिक स्थिरांक के सापेक्ष दुबारा परिभाषित कर किया जा सकता है, जिसे ब्रह्माण्ड में कहीं भी मापा जा सके और सर्वत्र एक समान परिणाम दे। इसका मतलब यह होगा कि यह मात्रक भौतिक क्षरण, तापमान या दाब, किसी स्थान पर गुरुत्वीय त्वरण के मान आदि कारकों से प्रभावित नहीं होगा। भौतिकी में कई अन्य मात्रकों को इस तरह से दुबारा परिभाषित किया गया है। उदाहरण के लिए, मीटर जैसे मात्रक को प्रकाश की गति के सापेक्ष दुबारा परिभाषित किया गया है और सेकंड (समय) को सीज़ियम परमाणुओं में घटित हो रहे इलेक्ट्रॉन संक्रमण की आवृत्ति के सापेक्ष दुबारा परिभाषित किया गया है।

कई भौतिकविज्ञानियों ने किलोग्राम को प्लांक स्थिरांक (Planck's constant) के सन्दर्भ में दुबारा परिभाषित करने का प्रस्ताव रखा था। 2011 में, अन्तर्राष्ट्रीय माप-तोल समिति ने अपने 55 प्रतिनिधियों की सर्वसम्मति से इस तरीक़े को औपचारिक रूप दिया।

किलोग्राम की नई परिभाषा को उपयोगी बनाने के लिए, प्लांक स्थिरांक को परिशुद्धता से मापना ज़रूरी था ताकि 'ला ग्राण्ड के' के प्रतिस्थापन से होने वाले परिवर्तन सहज रहें। अन्तर्राष्ट्रीय माप-तौल समिति ने प्लांक स्थिरांक के सटीक मान निर्धारण के लिए निम्नलिखित शर्तें रखीं :

1. तीन स्वतंत्र माप, जिनमें
2. प्रत्येक माप की अनिश्चितता < 50 भाग प्रति 100 करोड़,
3. कम-से-कम दो माप काफ़ी अलग-अलग प्रयोगों/विधियों से प्राप्त परिणाम हों,
4. कम-से-कम एक माप की अनिश्चितता < 20 भाग प्रति 100 करोड़।

लेकिन, यह प्लांक स्थिरांक है क्या? और, यह किलोग्राम से कैसे सम्बन्धित है?

यह जानकारी आप पृष्ठ संख्या 60 पर पा सकते हैं।

Credits: FallingFifth.com.
URL:https://www.fallingfifth.com/comics/20070328. License: CC-BY-NC-SA.

सिद्धार्थ सेतलूर कक्षा बारहवीं के विद्यार्थी हैं और एक ग़ैर-लाभकारी 'पियर-टू-पियर लर्निंग' प्लेटफॉर्म (www.vlearn.xyz) के संस्थापक हैं। सिद्धार्थ का लक्ष्य सैद्धान्तिक भौतिकशास्त्र और गणित के क्षेत्र में अकादमिक कैरियर बनाना है। सिद्धार्थ से siddharth.setlur@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है।

अनुवाद : कुमार गन्धर्व मिश्रा **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** कामिनी उपाध्याय