

शैक्षणिक संदर्भ अंक १२७ डिसेंबर २०२० – जानेवारी २०२१

पदार्थविज्ञानाचा नोबेल पुरस्कार २०२०:

पडद्यामागील तंत्रज्ञान

लेखक: सव्यसाची चटर्जी

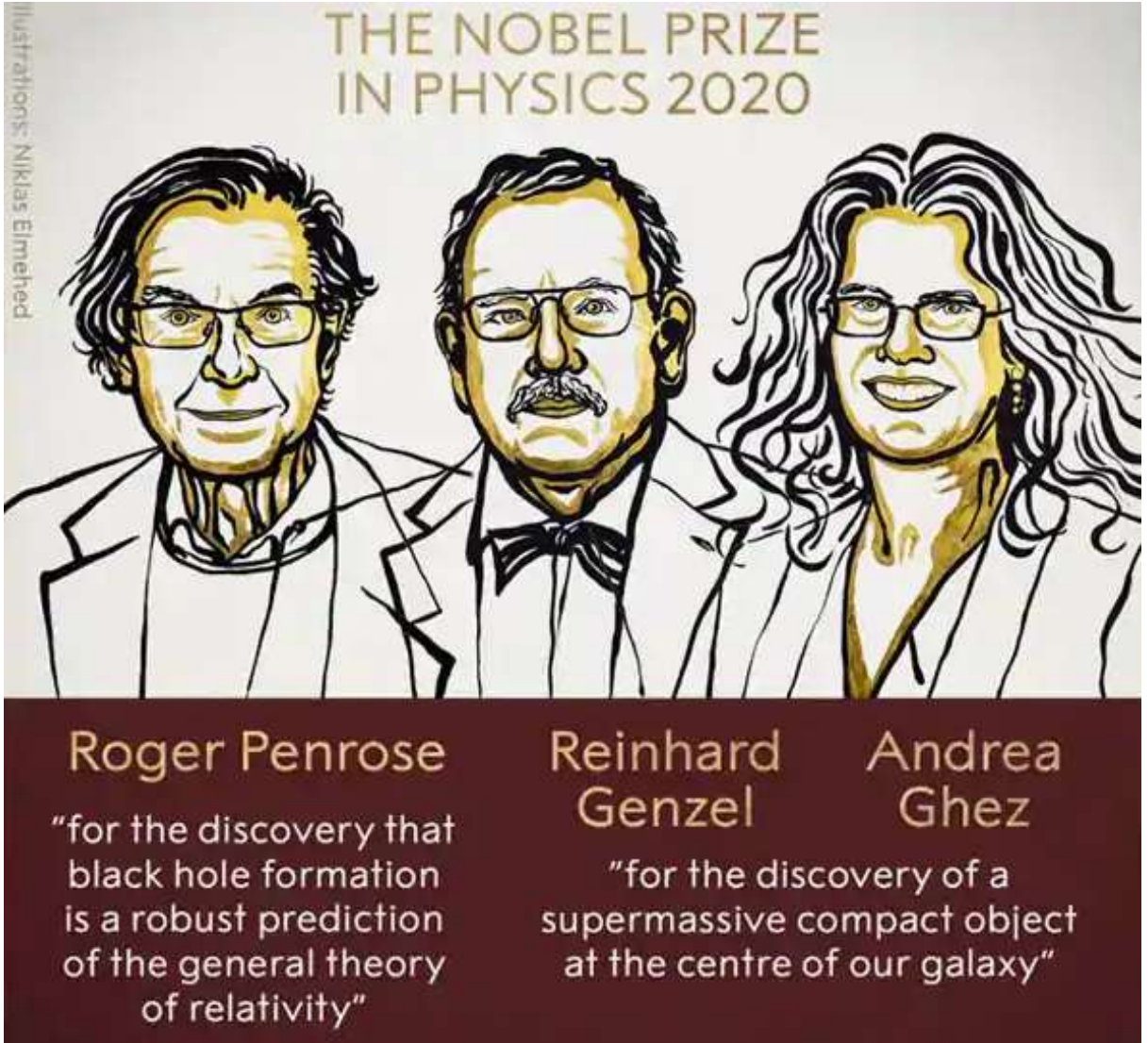
अनुवाद: संजीवनी आफळे

पदार्थविज्ञानाचा नोबेल पुरस्कार २०२०:

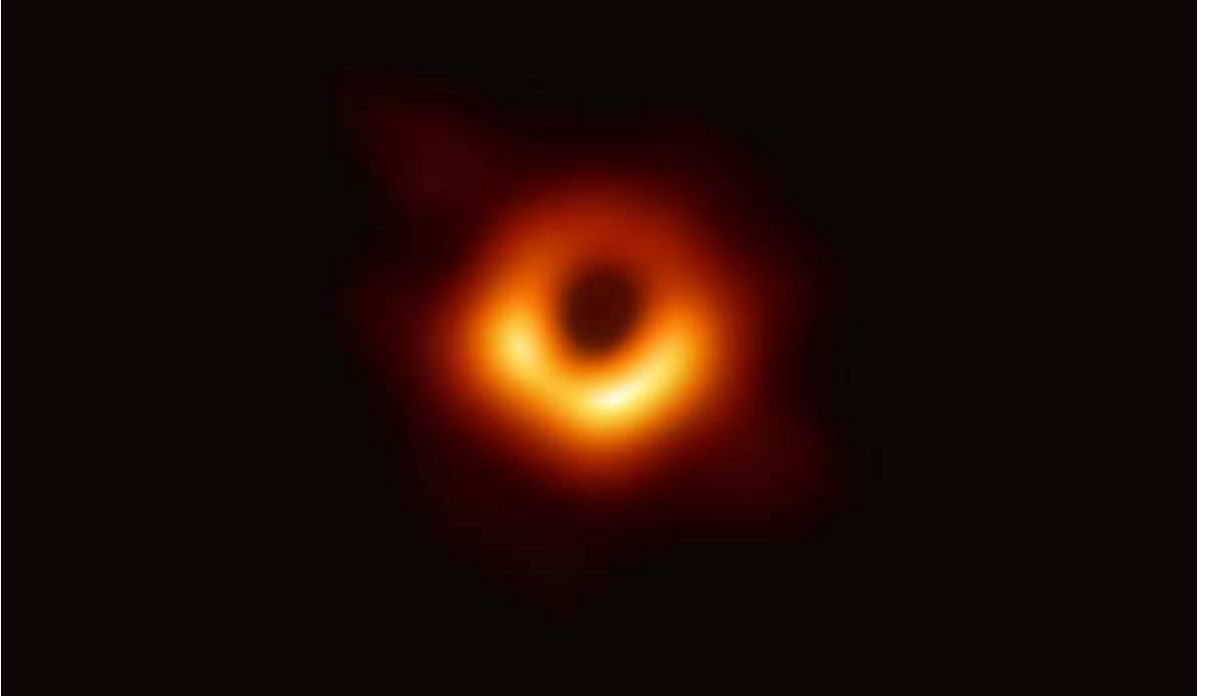
पडद्यामागील तंत्रज्ञान

लेखक: सब्यसाची चटर्जी

अनुवाद: संजीवनी आफळे



२०२० सालाचा पदार्थविज्ञानाचा नोबेल पुरस्कार रॉजर पेनरोज यांना ‘कृष्णविवराची निर्मिती म्हणजे सापेक्षतेच्या सिद्धांताने केलेली भक्कम भविष्यवाणीच आहे’ हे सिद्ध केल्याबद्दल, आणि अँड्रिया घेझ आणि राईनहार्ड गेन्ड्रेल यांना ‘आपल्या आकाशगंगेच्या मध्यभागी अतिभव्य आणि सघन वस्तू असल्याचे शोधून काढल्याबद्दल’ विभागून देण्यात आला.



इव्हेंट होरायझन दुर्बिणीने M87 या आकाशगंगेच्या मध्यभागाचे निरीक्षण करून काढलेले कृष्णविवराचे पहिले चित्र. यामध्ये सूर्यापेक्षा ६.५ दशलक्ष पट वस्तुमानाच्या कृष्णविवराभोवती त्याच्या प्रखर गुरुत्वाकर्षणामुळे तयार झालेले प्रकाशाचे वर्तुळ दिसते आहे.

https://www.nasa.gov/vision/universe/starsgalaxies/black_hole_description.html

या संशोधनामागील सैद्धांतिक बाबींची पुरस्काराच्या वार्ताकनामध्ये बरीच चर्चा झाली असली तरी हे शोध ज्या प्रायोगिक आणि तांत्रिक प्रगतीमुळे शक्य झाले त्यांकडे फारसे लक्ष दिले गेलेले नाही.

जॉन मिशेल आणि पिएर-सिमॉन लाप्लास यांनी १८व्या-१९व्या शतकामध्ये असे अनुमान बांधले की गुरुत्वाकर्षण नेहमीच ताकदवान असल्यामुळे अतिप्रचंड वस्तू स्वतःच्याच गुरुत्वाकर्षणामुळे कोसळून पडू शकतात. जर अशा वस्तू प्रचंड मोठ्या असल्या तर त्यांचे संपूर्ण वस्तुमान एका सघन सुघटित वस्तूमध्ये एकवटले जाते. या वस्तूच्या पृष्ठभागाचे गुरुत्व इतके जास्त असते की त्यावरून कोणतेही कण किंवा प्रकाश निसटू शकत नाही. यालाच आपण आता कृष्णविवर (ब्लॅक होल) असे म्हणतो. २० व्या शतकातल्या संशोधनाने दाखवून दिले की प्रखर गुरुत्वाकर्षण असलेल्या भागात न्यूटनचे नियम मोडून पडतील. अशा वस्तूंचे भौतिकशास्त्र सापेक्षतेच्या सामान्य सिद्धांतानुसार - अवकाश-काळाच्या वक्रतेत होणाऱ्या बदलांच्या दृष्टिकोनातून - मांडावे लागेल.

आईन्स्टाईन यांचा या विषयातला अग्रणी शोधनिबंध प्रसिद्ध झाल्यानंतर, १९१६ मध्ये कार्ल श्वार्झशिल्ड यांनी दाखवून दिले की वस्तुमान M असलेल्या वस्तूच्या मध्यापासून $r_0 = (2GM/c^2)$ इतक्या अंतरावर कृष्णविवरासारखी परिस्थिती निर्माण होईल (G म्हणजे गुरुत्वाकर्षणाचा वैश्विक स्थिरांक, c म्हणजे प्रकाशाचा अंतराळातील वेग). या अंतराला श्वार्झशिल्ड त्रिज्या असे म्हणतात. या सूत्रानुसार, सूर्य आणि पृथ्वीसाठी या श्वार्झशिल्ड त्रिज्या अनुक्रमे ३ कि.मी. आणि ९ मि.मी. असतील. सूर्य आणि पृथ्वीच्या प्रत्यक्षातल्या त्रिज्यांपेक्षा या फारच लहान आहेत. अतिप्रचंड आकाराच्या वस्तूंच्या त्रिज्या त्यांच्या श्वार्झशिल्ड त्रिज्यांएवढ्या असतील का? असे झाले तरच ती वस्तू स्वतःच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे कोसळून कृष्णविवर बनेल. अशा वस्तू खरंच अस्तित्वात असू शकतील का, की अशा वस्तूंना कृष्णविवर स्थितीत कोसळण्यापासून थांबवणारे दुसरे काही कारण आहे, असे काही प्रश्न या विवेचनातून उभे राहिले.

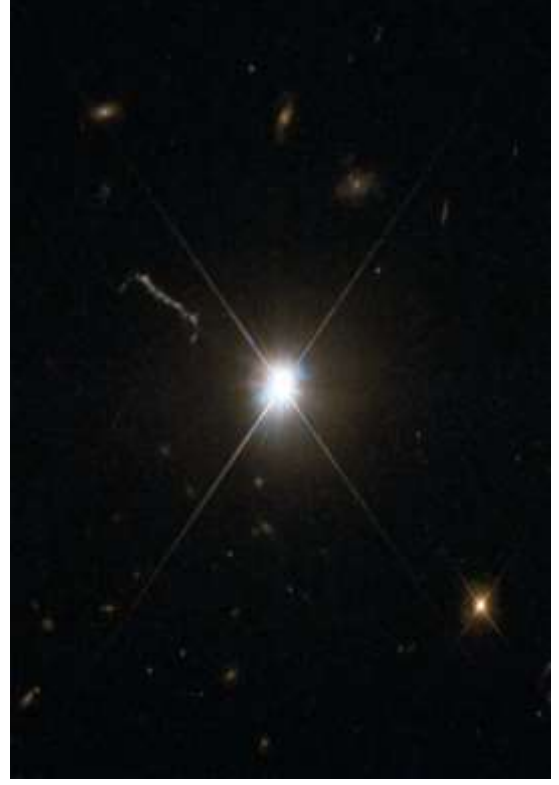
या सैध्दांतिक मांडणीबद्दल साशंकता बरीच दशके कायम राहिली. १९५५ मध्ये अमलकुमार रायचौधुरी यांच्या शोधनिबंधामध्ये हा प्रश्न पुन्हा उपस्थित केला गेला. आणि नंतर आर्थर कोमर यांनी दाखवले की, काही अटींची पूर्तता झाल्यावर असे कृष्णविवर तयार होऊ शकते.

१९६५ मध्ये रॉजर पेनरोज यांनी सापेक्षतेच्या सामान्य सिद्धांतामध्ये भूमितीची कल्पना मांडली. पेनरोज यांच्या अतिशय वेगळ्या दिशेने विचार करून केलेल्या क्रांतीकारी मांडणीने दाखवून दिले की, अतिप्रचंड वस्तूसाठी कृष्णविवरात कोसळणे हे अपरिहार्य आहे आणि ते कोणत्याही इतर, म्हणजे परिभ्रमण वगैरे सारख्या, भौतिक प्रक्रियांमुळे थांबवले जाऊ शकत नाही. हे सापेक्षतेच्या सामान्य सिद्धांताशी विसंगत नसून उलट त्या सिद्धांताचाच परिणाम आहे, असे त्यांनी काटेकोर पद्धतीने दाखवून दिले.

प्रश्न असा आहे की, पेनरोज यांच्या सैध्दांतिक कामानंतर खऱ्याखऱ्या कृष्णविवराचे अस्तित्व सापडायला पन्नास वर्षे का जावी लागली? इथेच तांत्रिक प्रगती आणि अनेक बाबतीतल्या भरीव कामगिरीची भूमिका लक्षात येते.

मागे वळून बघितले तर, १९५० सालात रेडियो खगोलशास्त्राने उसळी घेतली. कार्ल जान्स्की यांनी जरी हे तंत्र १९३०च्या सुरुवातीला शोधून काढले असले, तरी ते दुसऱ्या महायुद्धानंतर खरे भरात आले. युद्धकाळात विकसित झालेल्या रडार आणि रेडियोशास्त्रामुळे रेडियो खगोलशास्त्राला फायदा झाला आणि ठिकठिकाणी रेडियो दुर्बिणी उभारल्या गेल्या. प्रचंड माहिती गोळा झाली आणि सापेक्षतेच्या सामान्य सिद्धांतातील काही सैध्दांतिक प्रश्नांकडे पुन्हा बघण्याची मागणी होऊ लागली.

यातील एक शोध होता क्वासारचा, आणि पेनरोज यांचे काम या शोधाच्या नंतर लगोलग पूर्ण झाले. क्वासार हे आकाशगंगेच्या बाहेर खूप दूरवर असणारे अतिप्रकाशमान रेडियो स्रोत असतात. सगळ्यात जवळचा क्वासार आपल्यापासून २.५ अब्ज प्रकाशवर्षे इतका दूर आहे. त्यानंतर असे आढळून आले की, क्वासार आकाशात वेगवेगळ्या ठिकाणी, परंतु आकाशगंगेच्या मध्यभागी असतात आणि शक्य त्या सर्व तरंगलांबीच्या विद्युतचुंबकीय प्रारणांचे उत्सर्जन करतात.



पृथ्वीपासून २.५ अब्ज प्रकाशवर्षे दूर असलेल्या 3C 273 या क्वासारची हबल अवकाश दुर्बिणीने टिपलेली प्रतिमा

<https://www.nasa.gov/content/goddard/nasas-hubble-gets-the-best-image-of-bright-quasar-3c-273/#.X9r6j9qzblU>

क्वासार निर्माण करत असलेल्या अशा या प्रचंड ऊर्जेबद्दल, डोनाल्ड लिंडन-बेल यांनी १९६९ मध्ये असे सुचविले की, त्यांच्या मध्यभागी कितीतरी लाख सूर्यांचे वस्तुमान असलेली अतिप्रचंड कृष्णविवरे असतात. ही अतिभव्य कृष्णविवरे त्यांच्या प्रचंड गुरुत्वाकर्षण क्षेत्रामुळे आजूबाजूच्या वस्तूंना आपल्याकडे ओढून घेतात. वस्तूंच्या या कृष्णविवरांच्या आत ओढले जाण्यामुळे वेगवेगळ्या क्रिया घडून येतात, ज्यामुळे होणारे उत्सर्जन रेडियो दुर्बिणीद्वारे नोंदले जाते. लिंडन-बेल म्हणाले होते की, “अवकाश-काळातील अशा वस्तू आपल्या निरीक्षण क्षमतेच्या बाहेर असतील, असा निष्कर्ष काढणे चुकीचे ठरेल.”

क्वासारचे अस्तित्व वेगवेगळ्या आकाशगंगांच्या मध्यभागी असते असे सांगितले जात असताना, साहजिकच हा विचार आला की, “आपल्या ‘मिल्की वे’ या आकाशगंगेच्या मध्यभागी असे एखादे अतिभव्य कृष्णविवर आहे का हे आपण पहायला नको का?”

राईनहार्ड गेन्झेल आणि अँड्रिया घेझ या दोघांनी तीसेक वर्षे या प्रश्नाचा पाठपुरावा केला. १९८८ मध्ये, फ्रांसमधील कार्जेझ या ठिकाणी झालेल्या एका कार्यशाळेदरम्यान प्रस्तुत लेखकाची भेट प्राध्यापक घेझ यांच्या बरोबर झाली होती. घेझ यांची त्यावेळी नुकतीच पी.एचडी. पूर्ण झाली होती आणि तेथे त्यांनी काही दुहेरी ताऱ्यांच्या (असे तारे जे एकाच वस्तुमान केंद्राभोवती फिरणारे दोन तारे असतात. यातील जास्त प्रकाशमान असलेला तारा मुख्य तारा म्हणून ओळखला जातो, तर कमी प्रकाशमान तारा दुय्यम तारा मानला जातो.) कक्षांची मोजमापे सादर केली होती. अतिभव्य कृष्णविवरांच्या शोधामध्ये या संशोधनाचा मोठा वाटा आहे. जर आकाशगंगेच्या मध्यभागी एक अतिभव्य कृष्णविवर असेल तर त्याच्या आसपासचे तारे त्याच्या भोवती फिरतील. जर आपण त्यांच्या कक्षीय त्रिज्या आणि परिभ्रमणाचा कालावधी शोधण्यात यशस्वी झालो, तर आपल्याला कृष्णविवर असल्याचा संकेत मिळेल.

अशा ताऱ्यांचा शोध त्यांनी सॅजिटॅरियस ए* या भागात घेतला. मिल्की वे या आकाशगंगेच्या मध्यभागी असलेल्या भागाला ‘सॅजिटॅरियस ए स्टार’ असे म्हणतात. राईनहार्ड गेन्झेल आणि अँड्रिया घेझ या दोघांना सॅजिटॅरियस ए* ही एक अतिभव्य आणि सुघटित वस्तू आहे हे शोधून काढल्याबद्दल २०२० सालचे नोबेल पारितोषिक देण्यात आले. या भागामध्ये, अतिभव्य कृष्णविवरामुळे अवकाश-काळ इतका वेडावाकडा झाला आहे,

की त्यामुळे त्याभोवती फिरणाऱ्या ताऱ्यांचा परिभ्रमणाचा कालावधी १६ वर्षे इतका कमी आहे. मानवी आयुष्याच्या तुलनेत हा काळ खूपच कमी आहे. आपल्या सूर्याला आकाशगंगेच्या मध्यभागाभोवती फेरी पूर्ण करायला २०० दशलक्ष वर्षे लागतात! पण या वेगाने फिरणाऱ्या ताऱ्यांच्या कक्षांचा व्यास १७ प्रकाशतास इतका असेल, आणि त्यांचे निरीक्षण करण्यासाठी आपल्याला २६,००० प्रकाशवर्षे दूर असलेल्या आकाशगंगेच्या मध्याकडे पहावे लागेल! राईनहार्ड गेन्झेल यांनी म्हटल्याप्रमाणे यातले तांत्रिक आव्हान म्हणजे पृथ्वीवरून साध्या डोळ्यांनी निरीक्षण करून चंद्राच्या पृष्ठभागावरच्या काही सेंटीमीटर भागावरचा तपशील मिळवण्यासारखे होते.

या कामाकरिता प्रकाश एकत्र करण्याची उच्च क्षमता असलेल्या दुर्बिणीची



हवाई येथील १० मीटर व्यासाची केक दुर्बिणी
<https://en.wikipedia.org/wiki/W. M. Keck Observatory>

आवश्यकता होती. या दुर्बिणीच्या तोंडाचा व्यास मोठा असायला हवा होता कारण ताऱ्यांचा प्रकाश आकाशगंगेतील प्रकाश शोषणाच्या धुळीच्या अनेक थरांमधून २६००० प्रकाशवर्षे प्रवास करून येणार

असल्यामुळे अगदी मंद असणार होता. अँड्रिया घेझ यांच्या गटाने हवाई येथील १० मीटर व्यास तोंड असलेली केक (Keck) दुर्बिणी वापरली तर राईनहार्ड गेन्झेल यांच्या गटाने चिले येथील युरोपियन सदरन ऑब्झर्वेटरी येथील ८ मीटर व्यासाची दुर्बिणी वापरली.

अशा मोठ्या दुर्बिणी उभारणे हे तांत्रिकदृष्ट्या मोठे आव्हान असते. तिची रचना, बांधणी, वापर, देखभाल-दुरुस्ती, इ. सर्व बाबींसाठी यांत्रिकी, विद्युत, बांधकाम, पदार्थविज्ञान, इलेक्ट्रॉनिक्स अशा वेगवेगळ्या क्षेत्रातल्या तज्ञ व्यक्तींची गरज असते. इतर तंत्रज्ञान विषयक आव्हानांविषयी राईनहार्ड गेन्झेल म्हणाले की, तीस वर्षांमध्ये या यंत्रांची तपशील दाखवण्याची क्षमता (रिझॉल्व्हिबिलिटी) आणि संवेदनक्षमता (सेन्सिटिव्हिटी) काही हजार ते काही दशलक्ष पटीने सुधारावी लागली. संवेदनशील असे अवरक्त शोधक (इन्फ्रारेड डिटेक्टर) म्हणजेच सीसीडी (चार्ज्ड कपलड डिव्हाइसेस) मिळवणे हा यातला एक मोठा अडसर होता कारण सगळी निरीक्षणे अवरक्त प्रकाशात केली जाणार होती. पण कितीतरी नवीन कल्पना होत्या, ज्या प्रत्यक्षात आणल्या जाणार होत्या.

महत्त्वाचे म्हणजे, एकच दुर्बिणी वापरण्याऐवजी अनेक दुर्बिणींकडून (उदा. युरोपियन सर्दर्न ऑब्झर्वेटरी येथील ८ मीटर तोंडाच्या ४ दुर्बिणी) येणारा प्रकाश एका बहुदुर्बिणी इंटरफेरोमीटरमध्ये एकत्र केला गेला. अशा प्रकारे तपशील पहाण्याची शक्ती अनेक पटीने सुधारण्यात आली. त्यानंतर “सीइंग (seeing)” चा तांत्रिक प्रश्नही सोडवायचा होता.

सीइंग हा तांत्रिक शब्द पृथ्वीच्या वातावरणातील उलथापालथींमुळे चित्रणामध्ये येणाऱ्या व्यत्ययासाठी वापरला जातो. या व्यत्ययामुळे ताऱ्यांकडून येणारा प्रकाश कमी जास्त होतो आणि तारे चमकताना दिसतात. पण चित्रण करताना जास्त वेळाच्या एक्सपोजरमुळे चित्रणात यायला हवे ते सारे तपशील येऊ शकत नाहीत. मग खूप कमी वेळाचे एक्सपोजर (१ ते १० मिलीसेकंद) वापरले गेले. इतक्या कमी वेळात वातावरणात काही बदल होत नाही.

या साऱ्याला ‘अडाऱ्डीव्ह ऑऱ्ऱिक्स’ या तंत्राऱी जोड मिळाली. ढण त्याऱ्या नावीन्यतेमुळे आणखी आव्हाने उभी राहिली. अडाऱ्डीव्ह ऑऱ्ऱिक्स दोन ढायऱ्या ँकत्र करते. १) व्हेव्ह फ्रंट सेन्सिंग आणि २) व्हेव्ह फ्रंट करेक्शन. ढहिल्या ढायरीमध्ये ँक कृत्रिम तारा निर्माण करून ‘वातावरणीय सीडंग’ वर लक्ष ठेवले जाते. दुर्बिणीतून ५४ॢ.२ नॅनोमीटर इतक्या तरंगलांबीऱा लेसर ढकाश वातावरणात ढाठवला जातो. वातावरणात ९० किलोमीटर इतक्या उंचीवर असलेल्या मिसोस्फेअरमध्ये सोडियम अणू हा ढकाश शोषून उत्तेजित होतात. त्यानंतर हे सोडियम अणू ढकाश ढरत बाहेर उत्सर्जित करून शांत होतात. या ढक्रियेदरम्यान ते मिसोस्फेअरमध्ये ताऱ्यांसारखे वागणारे बिंदू तयार करतात. या कृत्रिम ताऱ्यांच्या अस्पष्ट ढतिमा आता दुर्बिणीत नोंदल्या जातात. या ढतिमांच्या अस्पष्टतेवरून व्हेव्ह फ्रंटमध्ये वातावरणातील हालऱालींमुळे निर्माण होणाऱ्या विकृती कळतात. ही ढक्रिया ‘सीडंग’वर देखरेख ठेवते. ‘सीडंग’ ऱी मिळालेली ही माहिती व्हेव्हफ्रंट मध्ये दुरुस्ती करण्यासाठी आता ँका अनेक तुकड्यांनी बनलेल्या लवऱीक आरशाकडे ढाठवली जाते. हा आरसा ँका अनेक घटक असलेल्या ऱित्रणव्यवस्थेऱा भाग असतो आणि अनेक ढिड्रोइलेक्ट्रिक अॅक्टिव्हेटर्स (छोटे दड्डे) द्वारा नियंत्रित केला जातो. मिळालेली माहिती वाढरून हा आरसा वेडा वाकडा केला जातो, व त्याद्वारे वातावरणाने वेव्हफ्रंटमध्ये आणलेल्या विकृती दुरुस्त केल्या जातात. अशा रितीने मिळालेली ढतिमा स्थिर केली जाते आणि त्याऱ बरोबर वातावरणीय ‘सीडंग’ ने निर्माण केलेले दोषही सुधारले जातात.

या दोन ढायऱ्या असलेल्या अडाऱ्डीव्ह ऑऱ्ऱिक्समुळे मिळालेला संदेश सर्व ढकारऱे व्यत्यय दूर करून ‘स्वऱ्छ’ केला जातो. या ‘स्वऱ्छ’ ढतिमा सॅजिटॅरियस ँ* विभागातल्या ताऱ्यांच्या कक्षीय त्रिज्या तंतोतंत मोजणे शक्य करतात. अशा ढकारे, आकाशगंगेऱ्या

मध्यभागी, सूर्यापेक्षा ४ दशलक्ष पट जास्त वस्तुमान असलेल्या अतिजड कृष्णविवराचे अस्तित्व सिद्ध केले गेले. अनेक भाग असलेले आरसे तयार करणे, व्हेव्ह प्रंट सेन्सिंग आणि करेक्शनसाठी जलद आकडेमोड व नियमन करणे यामधील तांत्रिक आव्हाने दुर्लक्षित करण्यासारखी नाहीत. सांघिकरीत्या केलेल्या या कामामुळे आपल्याला विश्वाकडे पहाण्याची एक नवीनच दृष्टी मिळाली. शिवाय कृष्णविवरांचे गूढ उकलले गेले आणि त्यांच्या अस्तित्वाबद्दल असलेला संशय निवळला गेला.

हे मोठे यश अनेक नवोदित शास्त्रज्ञांना प्रेरणा देईल आणि सामान्य नागरिकांना विज्ञानाकडे आकर्षित करेल यात शंका नाही. प्राध्यापक अँड्रिया घेझ यानंतर म्हणाल्या की हा पुरस्कार त्यांना “त्यांच्या कामातील अध्यापनाच्या बाजूकडे तळमळीने बघण्यास उद्युक्त करेल... लोकांची प्रश्न विचारण्याची आणि विचार करण्याची क्षमता वाढवेल, हे जगाच्या भविष्यासाठी फार निर्णायक आणि महत्त्वाचे आहे.” परंतु, अशा अभिजात कल्पनांमध्ये बहुआयामी सामाजिक गुंतवणुकीची आवश्यकता असते. हे काम समाजाने आता हातात घ्यायला हवे आहे.

§§§

लेखक : सव्यसाची चटर्जी, ऑल इंडिया पीपल्स सायन्स नेटवर्कचे अध्यक्ष.

इ-मेल : chatsab99@gmail.com

अनुवाद : संजीवनी आफळे, शैक्षणिक संदर्भ गटात सहभागी.

इ-मेल : saaphale@rediffmail.com

(कळीचे शब्द: कृष्णविवर, क्वासार, आकाशगंगा, रेडिओ खगोलशास्त्र, रेडिओ दुर्बिण)

शैक्षणिक संदर्भ द्वैमासिकाविषयी

शैक्षणिक संदर्भ हे पालकनीती परिवाराचे द्वैमासिक ऑगस्ट १९९९ पासून संदर्भ सोसायटी प्रकाशित करत आहे. मराठीतून चांगले विज्ञान वाचायला मिळावे, शालेय व महाविद्यालयीन विद्यार्थ्यांच्या कुतूहलाला प्रोत्साहन मिळावे, अनुभवांना जोडून असलेल्या विज्ञानाची सहज ओळख व्हावी आणि समाजात वैज्ञानिक दृष्टिकोन वाढावा, हे याचे उद्देश आहेत.

२०१८ सालापासून आम्ही शैक्षणिक संदर्भची छापील आवृत्ती न काढता इ-अंक प्रकाशित करत आहोत व इमेल आणि व्हॉट्सॅपच्या माध्यमातून वाचकांपर्यंत पोहोचवत आहोत.

आपल्याला आमचे अंक वाचायचे असल्यास आपला इ-मेल पत्ता आणि व्हॉट्सॅप क्रमांक (ऐच्छिक) आम्हाला sandarbh.marathi@gmail.com वर पाठवावा. दर आठवड्याला एक लेख व दर दोन महिने पूर्ण झाल्यावर आठ लेखांचा एकत्रित एक अंक असे आपल्याला पीडीएफ स्वरूपात मिळतील.

www.sandarbhsociety.org या वेबसाईटला जरूर भेट द्या. जुने अंकही त्यावर पीडीएफ स्वरूपात उपलब्ध आहेत.

हा उपक्रम विनामूल्य आहे, पण आपण आपला सहभाग ऐच्छिक देणगी रूपात संदर्भ सोसायटीकडे पाठवू शकता. अधिक माहिती वेबसाईटवर उपलब्ध आहे.

- संपादक मंडळ, शैक्षणिक संदर्भ व विश्वस्त मंडळ, संदर्भ सोसायटी