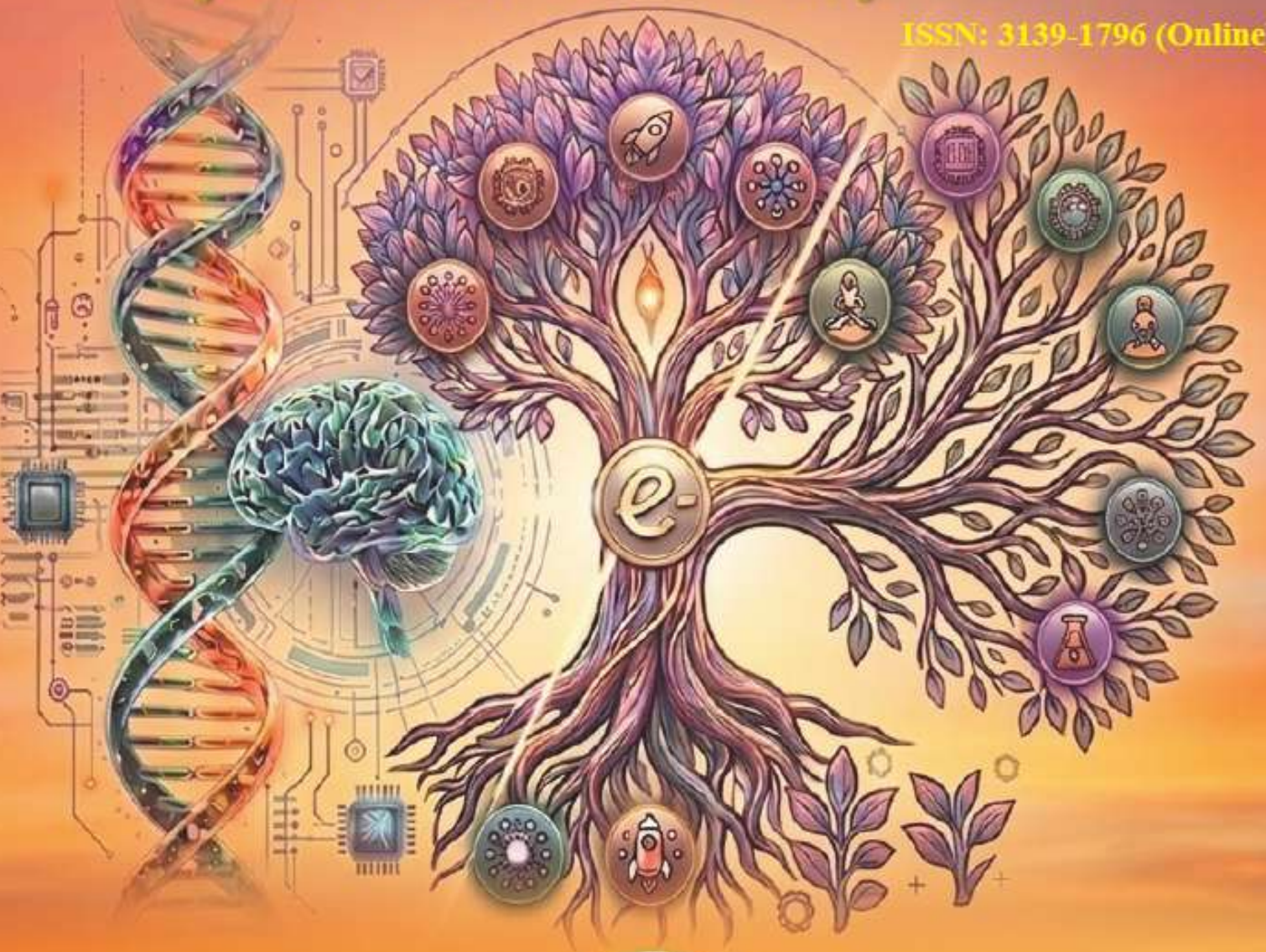


ई-विज्ञानम्

e-Vigyanam

एक अंतर्विषयक मासिक विज्ञान पत्रिका

ISSN: 3139-1796 (Online)

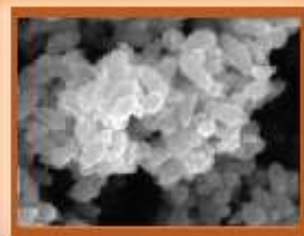


विज्ञान और प्रौद्योगिकी
मुक्ताज्ञानम् प्रकाशन



विज्ञान और नवाचार
खण्ड 2 | अंक 1

अंतर्विषयक, मुक्त ज्ञान को समर्पित



संपादक मंडल

Founder and Editor in Chief (संस्थापक एवं मुख्य संपादक)



डॉ सत्य पाल सिंह (Dr. Satya Pal Singh)

आचार्य, भौतिकी एवं पदार्थ विज्ञान विभाग, मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उत्तर प्रदेश, भारत-२७३०१० (Professor,
Department of Physics and Material Science, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, Uttar Pradesh,
India-273010)

संपर्क हेतु पता: एम आई जी -२७, गौतम विहार कॉलोनी, राव जिम के पीछे, तारामंडल, गोरखपुर, उत्तर प्रदेश, भारत -२७३०१७
Address for Contact: MIG-27, Gautam Vihar Colony, Behind Rao Gym, Taramandal, Gorakhpur, Uttar Pradesh, India-273010
+91945042250

संस्थान ईमेल (Institute Email): spsprms@mmmut.ac.in

सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): satyapal.evigyanam@gmail.com

प्रोफाइल लिंक-<https://www.mmmut.ac.in/FacultyList?ab=1>

ResearchGate Link-<https://www.researchgate.net/profile/Satya-Singh-46>

सदस्य संपादक मंडल (Members of Editorial Board)



डॉ अलोक कुमार श्रीवास्तव (Dr. Alok Kumar Srivastav)

आचार्य, रसायन शास्त्र विभाग महात्मा गाँधी स्नातकोत्तर महाविद्यालय, सिविल लाइन्स, गोरखपुर, उत्तर प्रदेश, भारत-२७३००१ (Professor, Department of Chemistry, Mahatama Gandhi Postgraduate College, Civil Lines, Gorakhpur, Uttar Pradesh, India-273001)

+91993616176

संस्थान ईमेल (Institute Email): alok.chem@mgpgc.ac.in

सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): alok.evigyanam@gmail.com

प्रोफाइल लिंक-<https://mgpgc.ac.in/faculties-of-chemistry/>



डॉ आशीष अवस्थी (Dr. Aashees Awasthi)

सह- आचार्य, भौतिकी विभाग, लखनऊ विश्वविद्यालय, लखनऊ, उत्तर प्रदेश, भारत- २२६००७ (Associate Professor, Department of Physics, Lucknow University, Lucknow, Uttar Pradesh, India- 226007)

+919415003753

संस्थान ईमेल (Institute Email): awasthi_asheesh@lkouniv.ac.in

सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): aashees.evigyanam@gmail.com

प्रोफाइल लिंक-<https://udrc.lkouniv.ac.in/department/ViewProfile?EId=247>



डॉ. चंदन उपाध्याय (Dr. Chandan Upadhyay)

आचार्य, स्कूल ऑफ मैटेरियल्स साइंस एंड टेक्नोलॉजी, भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, बी०एच०यू० वाराणसी, उत्तर प्रदेश भारत - 221005
(Professor, School of Materials Science and Technology, Indian Institute of Technology BHU Varanasi, Uttar Pradesh, India-221005)

+91 08005304675

संस्थान ईमेल (Institute Email): cupadhyay.mst@iitbhu.ac.in

सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): chandan.evigyanam@gmail.com

प्रोफाइल लिंक- <https://www.iitbhu.ac.in/dept/mst/people/cupadhyaymst>



डॉ गरिमा सिंह (Dr. Garima Singh)

सहायक आचार्य, मनोविज्ञान विभाग, दीन दयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उत्तर प्रदेश, भारत- २७३००९ (Assistant Professor, Department of Psychology, DDU Gorakhpur University, Gorakhpur, Uttar Pradesh, India-273009)

+917309054463

संस्थान ईमेल (Institute Email): garima.psy@ddugu.ac.in

सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): garima.evigyanam@gmail.com

प्रोफाइल लिंक-<https://ddugu.ac.in/teaching-staff.php>



डॉ पंकज माथुर (Dr. Pankaj Mathur)

आचार्य, गणित एवं खगोल-विज्ञान, लखनऊ विश्वविद्यालय, लखनऊ, उत्तर प्रदेश, भारत- २२६००७ (Professor, Department of Mathematics and Astronomy, Lucknow University, Lucknow, Uttar Pradesh, India- 226007)

+919415785092

संस्थान ईमेल (Institute Email): mathur_p@lkouniv.ac.in

सम्पादकीय ईमेल (Editorial Email): pankaj.evigyanam@gmail.com

प्रोफ़ाइल लिंक-<https://udrc.lkouniv.ac.in/department/ViewProfile?EId=210>

सम्पादकीय कार्यालय-सम्बद्ध सहयोगी (Editorial Office Associates)



अभिषेक प्रजापति

एम.एससी. (भौतिक विज्ञान)/ M.sc Physics
शोध छात्र- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
(Research Scholar, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010
+919621320507
abhishek01.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-<https://www.researchgate.net/profile/Abhishek-Prajapati-14>



अभिषेक कुमार सरोज

एम.एससी. (भौतिक विज्ञान)/ M.sc Physics
शोध छात्र- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
Research Scholar, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010
+917905767907
abhishek02.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-<https://www.researchgate.net/profile/Abhishek-Kumar-Saroj>



हिमांशी यादव

एम.एससी. (भौतिक विज्ञान)/ M.sc Physics
शोध छात्र- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
Research Scholar, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010
+918303584964
himanshi.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-<https://www.researchgate.net/profile/Himanshi-Yadav-13>



अवनीश मिश्र

एम.एससी. (भौतिक विज्ञान)/ M.sc Physics
शोध छात्र- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
Research Scholar, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010
+919415147673
avanish.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-<https://www.researchgate.net/profile/Avanish-Mishra-7>



जाह्नवी सिंह

बी लेवल कंप्यूटर कोर्स (समतुल्य ऍम सी ए) नीलिट, गोरखपुर, उ प्र , भारत
B Level Computer Course (Equivalent MCA), NIELIT, Gorakhpur, UP, India
+917607787653
jahanvi.evigyanam@gmail.com
प्रोफाइल लिंक



श्वेता अग्रहरि

पी.एचडी (भौतिक विज्ञान)- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
Ph.D (Physics), Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010
+918423275515
shweta.evigyanam@gmail.com
प्रोफाइल लिंक-<https://www.researchgate.net/profile/Shweta-Agrahari-3>



अर्चना कुमारी सिंह

पी.एचडी (भौतिक विज्ञान)- मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
Ph.D (Physics), Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur, U.P., India-273010
पोस्टडॉक्टोरल शोध: आईआईटी भुवनेश्वर, उड़ीसा, उ०प्र०, भारत
Postdoctoral Research: IIT Bhuvneshwar, Udisa, INDIA
+917388346916
archana.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-<https://www.researchgate.net/profile/Archana-Singh-86>



मनोरमा सिंह

रिटायर्ड लेक्चर (रसायन विज्ञान), बी.आर.डी इंटर कॉलेज, देवरिया, उ०प्र०, भारत-274001
Retd. Lecturer (Chemistry), B.R.D. Inter College, Deoria, U.P., India-274001
+919451708054
manorama.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक



डॉ. श्रीकांत मणि त्रिपाठी

पीएचडी (गणित)- सनराइज विश्वविद्यालय, अलवर, राजस्थान, उ०प्र०, भारत-301028
PhD (Mathematics)-SunRise University, Alwar, Rajasthan, India-301028
+919389341716
shrikant.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-<https://www.researchgate.net/profile/Shrikant-Tripathi>



डॉ रघुबीर नारायण सिंह

पीएचडी (प्राणि विज्ञान)- दीनदयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273009
PhD (Zoology)-Deen Dayal Upadhyay Gorakhpur University, Gorakhpur, U. P., India-273009
+919415856010
raghubir.evigyanam@gmail.com
प्रोफ़ाइल लिंक-https://www.mpm.ac.in/FacultyData/ReumeFaculty_64452326.pdf

सम्पादकीय

हमें ई-विज्ञानम के दूसरे अंक (फरवरी २०२६) को प्रकाशित करने पर प्रसन्नता हो रही है। हमें आपको यह जानकारी देते हुए प्रसन्नता हो रही है, कि ई-विज्ञानम पत्रिका को **ISSN-3139-1796 (ऑनलाइन)** पंजीकरण प्राप्त हो चुका है। ई-विज्ञानम को इसके प्रकाशन के प्रथम अंक से ही अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर गुणवत्ता की मानक समझी जानी वाली क्रॉसरेफ (Crossref) इंडेक्सिंग प्राप्त हो गई है, और इसमें प्रकाशित सभी आलेखों को यूनिक एवं स्थाई DOI (Digital Object Identifier) प्राप्त हो रहा है। हमारे विश्वविद्यालय (मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय) के साथ-साथ दीन दयाल उपाध्याय गोरखपुर विश्वविद्यालय, लखनऊ विश्वविद्यालय, बनारस हिन्दू विश्वविद्यालय, गालगोटास यूनिवर्सिटी, नॉएडा, सिक्किम मणिपाल यूनिवर्सिटी, जयपुर एवं आई आई टी भुवनेश्वर के विषय विशेषज्ञों, प्राध्यापकों और आचार्यों ने फरवरी अंक के प्राप्त हुए आलेखों की समीक्षा की और रिपोर्ट नियत समय पर भेजकर अपना महत्वपूर्ण योगदान किया। पाठकों की भी अच्छी संख्या ई-विज्ञानम में ऑनलाइन प्रकाशित आलेखों को पढ़ रही है। आशा है, ई-विज्ञानम पत्रिका आप सभी के सहयोग और आशीर्वाद से आने वाले समय में हिंदी भाषा में शोधपरक वैज्ञानिक आलेखों को प्रकाशित करने के लिए एक श्रेष्ठ माध्यम बन कर उभरेगी एवं भविष्य में नए प्रतिमान स्थापित करेगी।

सभी सम्बद्ध लेखकों, विशेषज्ञों एवं सहयोगियों के प्रति सादर आभार !

आपको यह जानकारी देना आवश्यक प्रतीत होता है कि यह जर्नल **ओपन जर्नल सिस्टम्स (OJS-PKP) 3.5.0.3** का उपयोग करता है, जो ओपन सोर्स जर्नल प्रबंधन और प्रकाशन सॉफ्टवेयर है, जिसे GNU जनरल पब्लिक लाइसेंस के अंतर्गत पब्लिक नॉलेज प्रोजेक्ट द्वारा विकसित, समर्थित और निःशुल्क वितरित किया गया है। पब्लिक नॉलेज प्रोजेक्ट साइमन फ्रेज़र यूनिवर्सिटी, ब्रिटिश कोलंबिया, कनाडा (**QS Rank # 308**) द्वारा संचालित प्रोजेक्ट है। हम **OJS-PKP** के प्रति भी आभार व्यक्त करते हैं।

क्रमांक	पृष्ठ संख्या	लेखक	आलेख शीर्षक
1.	1-4	अभिषेक कुमार सरोज एवं अन्य	फरवरी माह 2026 की महत्वपूर्ण वैज्ञानिक घटनाएं
2.	5-17	हिमांशु यादव एवं सत्य पाल सिंह	ZnO नैनोकणों का संश्लेषण सोल- जेल विधि से एवं चारित्रिक गुणों का समीक्षात्मक अवलोकन
3.	18-25	प्रशांत कुमार चौहान एवं अन्य	मध्य भारत-गंगा मैदान के शहरी क्षेत्र वाराणसी में ब्लैक कार्बन की परिवर्तनशीलता और स्रोत का विभाजन
4.	26-31	रजनी सिंह	क्वांटम कम्प्यूटिंग और क्रिप्टोग्राफी: एक क्वांटम-यांत्रिक दृष्टिकोण
5.	32-36	विवेक मिश्रा एवं नितेश शुक्ला	ब्रह्मांड का अदृश्य आधार: डार्क मैटर और गुरुत्वाकर्षण के नए आयाम
6.	37-43	अभय कुमार सिंह	वैश्विक नौवहन उपग्रह प्रणालियाँ और वायुमंडल के दूरस्थ संवेदन में उनके अनुप्रयोग.
7.	44-51	राकेश कुमार	कृत्रिम बुद्धिमत्ता में उभरती प्रवृत्तियाँ: मशीन लर्निंग, डीप लर्निंग, जनरेटिव एआई और एजेंटिक सिस्टम
8.	52-56	प्रज्ञा पटेल एवं अन्य	संवेदन अनुप्रयोग हेतु हाइड्रोथर्मल तकनीक से कार्बन क्वांटम डॉट्स का संश्लेषण
9.	57-66	देवेन्द्र नाथ त्रिपाठी	आधुनिक विज्ञान के महानतम् हस्ताक्षर: प्रो०सी०वी०रामन



फरवरी माह 2026 की महत्वपूर्ण वैज्ञानिक घटनाएं

अभिषेक कुमार सरोज*, अभिषेक प्रजापति, अवनीश मिश्रा
भौतिकी एवं पदार्थ विज्ञान विभाग, मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- abhisheksaroj023@gmail.com

आलेख प्राप्त: १६ अप्रैल २०२६; स्वीकृत: २२ अप्रैल २०२६

प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २५ अप्रैल २०२६

सारांश

प्रस्तुत लेख फरवरी 2026 के दौरान घटित महत्वपूर्ण वैज्ञानिक घटनाओं का एक व्यापक एवं विश्लेषणात्मक अध्ययन प्रस्तुत करता है। इस माह में चंद्रमा के विभिन्न चरण, संभावित उल्का बौछारें तथा सौर गतिविधियों में उतार-चढ़ाव जैसी खगोलीय घटनाओं ने वैज्ञानिक समुदाय का विशेष ध्यान आकर्षित किया। इन घटनाओं का प्रेक्षण प्रमुख अंतरिक्ष एजेंसियों जैसे नासा (NASA), इसरो (ISRO) और ईएसए (ESA) द्वारा विभिन्न वैज्ञानिक मानकों के आधार पर किया गया। यह लेख इन घटनाओं के भौतिक प्रभावों, उनके पीछे निहित कक्षीय यांत्रिकी (Orbital Mechanics) तथा पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र और आयनमंडल पर उनके प्रभावों का समेकित विश्लेषण प्रस्तुत करता है। साथ ही, वैश्विक वेधशालाओं द्वारा संकलित आंकड़ों का व्यवस्थित विवरण भविष्य के वैज्ञानिक अनुसंधान के लिए एक महत्वपूर्ण संदर्भ प्रदान करता है। फरवरी 2026 का महीना ब्रह्मांडीय प्रेक्षण के क्षेत्र में निरंतरता और वैज्ञानिक प्रगति का द्योतक रहा है। यह माह न केवल खगोलीय घटनाओं के अवलोकन की दृष्टि से महत्वपूर्ण रहा, बल्कि अंतरिक्ष मौसम (space weather) की समझ तथा उपग्रह संचार और नेविगेशन प्रणालियों के विकास के लिए भी अत्यंत उपयोगी सिद्ध हुआ है।

सूचक शब्द - अंतरराष्ट्रीय घटनाएँ, खगोलीय घटनाएँ, वैज्ञानिक खोजें, रक्षा और प्रौद्योगिकी, जलवायु और पर्यावरण और चिकित्सा।



Important Scientific Events of February 2026

Abhishek kumar Saroj*, Abhishek Prajapati, Avanish Mishra
Department of Physics and Material Science, Madan Mohan Malaviya University of Technology
Gorakhpur, Uttar Pradesh, India – 273010
Corresponding Author Email*: abhisheksaraj023@gmail.com

Received On: 16 April 2026; Accepted On: 22 April 2026
Published Online First: 25 April 2026

ABSTRACT

The present article provides a comprehensive and analytical study of the significant scientific events that occurred during February 2026. During this month, astronomical phenomena such as the various phases of the Moon, potential meteor showers, and fluctuations in solar activity attracted considerable attention from the scientific community. These events were observed by major space agencies such as NASA, ISRO, and ESA using various scientific standards. This article presents an integrated analysis of the physical impacts of these events, the underlying orbital mechanics, and their effects on Earth's magnetic field and ionosphere. It also provides a systematic compilation of data collected by global observatories, which serves as an important reference for future scientific research. The month of February 2026 represents continuity and progress in the field of cosmic observation. It was significant not only from the perspective of observing astronomical events but also proved highly useful in understanding space weather and in the advancement of satellite communication and navigation systems.

Keywords: International events, Astronomical phenomena, Scientific discoveries, Defense and technology, Climate and environment and Medicine

क्रम संख्या	माह	महत्त्वपूर्ण घटनाएँ
1.	फरवरी	<p>खगोल विज्ञान और अंतरिक्ष अन्वेषण</p> <ul style="list-style-type: none"> अल्फा सेंटॉरिड उल्का वर्षा (8 फरवरी): आधी रात के बाद सक्रिय। वलयाकार सूर्य ग्रहण (17 फरवरी): एक "आग का छल्ला" ग्रहण, जो दक्षिणी हिंद महासागर और अंटार्कटिका के ऊपर अधिकतम रूप से दिखाई दिया। बुध का अधिकतम विस्तार (19 फरवरी): बुध अपने अधिकतम पूर्वी विस्तार पर पहुंचता है, जिससे यह सूर्यास्त के बाद पश्चिम में नीचे की ओर दिखाई देता है। छह ग्रहों का संरेखण (28 फरवरी): बुध, शुक्र, बृहस्पति, शनि, यूरेनस और नेपच्यून रात्रि आकाश में एक चाप बनाएंगे। आर्टेमिस II मिशन अपडेट (फरवरी 2026): चंद्रमा के चारों ओर अंतरिक्ष यात्रियों को भेजने के नासा के मिशन पर संभावित अपडेट। बृहस्पति/शनि की घटनाएँ: बृहस्पति पर यूरोपा और कैलिस्टो की छायाओं का दोहरा पारगमन (12 फरवरी) और शनि/नेपच्यून का संयोजन (20 फरवरी)। <p>विज्ञान नीति और मान्यता</p> <ul style="list-style-type: none"> विज्ञान में महिलाओं और लड़कियों का अंतर्राष्ट्रीय दिवस (11 फरवरी): विज्ञान तक पूर्ण और समान पहुंच को बढ़ावा देने वाला संयुक्त राष्ट्र द्वारा मान्यता प्राप्त दिवस। राष्ट्रीय विज्ञान दिवस (भारत) (28 फरवरी): "विज्ञान में महिलाएं: विकसित भारत को उत्प्रेरित करना" विषय के साथ सी.वी. रमन की 1928 की खोज का जश्न मनाता है, जिसमें नवाचार में महिलाओं की भूमिका पर ध्यान केंद्रित किया जाता है। <p>वैज्ञानिक अनुसंधान और खोजें</p> <ul style="list-style-type: none"> दीर्घायु विज्ञान: स्विस शोधकर्ताओं ने फरवरी के अंत में बताया कि शतायु लोगों के रक्त में 37 प्रोटीनों के स्तर में "युवा" समानता पाई जाती है, जो उम्र बढ़ने से संबंधित प्रक्रियाओं में धीमी गति का संकेत देती है। वायुमंडलीय अध्ययन: ऑस्ट्रेलियाई शोधकर्ताओं ने इस बात पर प्रकाश डाला कि मानव डेटा में सीरम बाइकार्बोनेट का स्तर 1999 से 7% बढ़ गया है, जो वायुमंडलीय कार्बन डाइऑक्साइड में वृद्धि के अनुरूप है। <p>अन्य प्रमुख आयोजन</p> <p>4 फरवरी – यूरेनस आकाश में अपनी गति की दिशा प्रतिगामी से अग्रगामी में बदलता है।</p> <p>12 फरवरी</p> <ul style="list-style-type: none"> ईएसए के चेओपीएस टेलीस्कोप द्वारा किए गए प्रेक्षणों का उपयोग करते हुए, वैज्ञानिकों ने तारे एलएचएस 1903 के चारों ओर एक ग्रह प्रणाली की अनूठी संरचना का वर्णन किया है, जहाँ सबसे भीतरी और सबसे बाहरी ग्रह चट्टानी हैं, जबकि मध्य के दो ग्रहों में विस्तृत वायुमंडल हैं। यह ग्रह निर्माण के "अंदर से बाहर" मॉडल का समर्थन करता है। एक छोटे पॉलीमरेज राइबोजाइम का वर्णन किया गया है जो अपने पूरक स्ट्रैंड और स्वयं की एक प्रति दोनों का संश्लेषण कर सकता है। इसे जीवन की उत्पत्ति की "आरएनए दुनिया" परिकल्पना के लिए एक ठोस समर्थन के रूप में व्याख्यायित किया गया है। आइसबर्ग क्वांटम के शोधकर्ताओं ने "पिनैकल आर्किटेक्चर" नामक एक अध्ययन प्रकाशित किया है, जो क्वांटम लो-डेंसिटी पैरिटी-चेक (qLDPC) कोड पर आधारित एक दोष-सहिष्णु क्वांटम कंप्यूटिंग डिजाइन है। उन्होंने दिखाया है कि मानक हार्डवेयर मान्यताओं के तहत 2048-बिट RSA पूर्णांक को 100,000 से कम भौतिक क्यूबिट्स के साथ गुणनखंडित किया जा सकता है - जो पिछले अनुमानों की तुलना में परिमाण के क्रम में कमी है। बृहस्पति की डिस्क के पार यूरोपा और कैलिस्टो की छायाओं का पारगमन (दोहरा पारगमन कीव समय के अनुसार रात 9:04 बजे से रात 10:25 बजे तक चलेगा)। <p>17 फरवरी –</p> <ul style="list-style-type: none"> वलयाकार सूर्य ग्रहण। ग्रहण की अधिकतम तीव्रता 0.963 होगी, जिसका अर्थ है कि चंद्रमा सूर्य के दृश्य व्यास के 96.3% भाग को ढक लेगा। यह ग्रहण मुख्य रूप से अंटार्कटिका में दिखाई देगा; यूक्रेन में यह दिखाई नहीं दिया।

	<p>19 फरवरी –</p> <ul style="list-style-type: none"> ● बुध (-0.6 मीटर) अपने सबसे बड़े पूर्वी विस्तार (18.1°) पर; सूर्यास्त के तुरंत बाद, पश्चिमी क्षितिज के ठीक ऊपर दिखाई दिया। पश्चिम में शाम के आकाश में एक सुंदर विन्यास, जिसमें शुक्र, बुध, नए चंद्रमा का अर्धचंद्र और शनि के साथ नेपच्यून शामिल हैं। <p>24 फरवरी</p> <ul style="list-style-type: none"> ● स्विट्जरलैंड के शोधकर्ताओं ने बताया कि शतायु लोगों में 37 प्रोटीनों में "युवा" रक्त प्रोफाइल दिखाई देते हैं, जिसमें उल्लेखनीय रूप से कम ऑक्सीडेटिव तनाव मार्कर शामिल हैं, जो यह सुझाव देते हैं कि असाधारण दीर्घायु में विशिष्ट उम्र बढ़ने से संबंधित जैविक मार्ग धीमे हो जाते हैं। <p>26 फरवरी</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ऑस्ट्रेलिया के शोधकर्ताओं ने बताया कि अमेरिकी आबादी के आंकड़ों में सीरम बाइकार्बोनेट का स्तर 1999 से 7% बढ़ गया है, जो वायुमंडलीय कार्बन डाइऑक्साइड में वृद्धि के अनुरूप है। मॉडलिंग से पता चलता है कि यदि वर्तमान रुझान जारी रहे, तो औसत बाइकार्बोनेट का स्तर 50 वर्षों के भीतर आज के स्वीकृत स्वस्थ सीमा के ऊपरी स्तर तक पहुंच सकता है। <p>फरवरी 2026 की प्रमुख रक्षा और प्रौद्योगिकी घटनाएं:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● DRDO द्वारा SFDR तकनीक का सफल परीक्षण (03 फरवरी, 2026): रक्षा अनुसंधान एवं विकास संगठन (DRDO) ने ओडिशा के चांदीपुर स्थित एकीकृत परीक्षण रेंज (ITR) से सॉलिड फ्यूल डक्टेड रैमजेट (SFDR) तकनीक का सफलतापूर्वक प्रदर्शन किया। यह तकनीक लंबी दूरी की हवा से हवा में मार करने वाली मिसाइलों (Air-to-Air Missiles) के विकास के लिए महत्वपूर्ण है, जिससे भारत इस उन्नत तकनीक वाले चुनिंदा देशों में शामिल हो गया है। ● DAC द्वारा ₹3.60 लाख करोड़ के प्रस्तावों को मंजूरी (12 फरवरी, 2026): रक्षा मंत्री राजनाथ सिंह की अध्यक्षता में रक्षा अधिग्रहण परिषद (DAC) ने भारतीय सशस्त्र बलों के लिए ₹3.60 लाख करोड़ से अधिक के पूंजी अधिग्रहण प्रस्तावों को मंजूरी दी। इसमें भारतीय वायु सेना के लिए 114 राफेल लड़ाकू विमान, कॉम्बैट मिसाइल और उच्च ऊंचाई वाले स्पूडो-सैटेलाइट (Pseudo Satellite) शामिल हैं। ● VSHORADS मिसाइल सिस्टम का परीक्षण (27 फरवरी, 2026): DRDO ने चांदीपुर से वेरी शॉर्ट-रेंज एयर डिफेंस सिस्टम (VSHORADS) मिसाइल के लगातार तीन सफल उड़ान परीक्षण किए। यह मिसाइल उच्च गति वाले हवाई खतरों को बेअसर करने की क्षमता रखती है। ● DEFSAT 2026 सम्मेलन (24-26 फरवरी, 2026): नई दिल्ली में डेफसैट सम्मेलन आयोजित किया गया, जिसमें अंतरिक्ष आधारित रक्षा क्षमताओं (Defence-Space Forum) पर चर्चा की गई। इस दौरान अंतरिक्ष संचार की सुरक्षा के लिए साइबर सुरक्षा ढांचा भी जारी किया गया। ● वायु सेना को आकाश-एनजी मिसाइल: फरवरी में ही आकाश-एनजी (न्यू जेनरेशन) मिसाइल प्रणाली की क्षमताओं को और सुदृढ़ करने की दिशा में प्रगति हुई। ● नौसेना के लिए ADC-150 परीक्षण: DRDO और भारतीय नौसेना ने P8I विमान से स्वदेशी एयर ड्रॉपेबल कंटेनर 'ADC-150' के सफल परीक्षण किए, जो समुद्र में दूर तैनात जहाजों तक महत्वपूर्ण सामग्री पहुंचाने की क्षमता को बढ़ाता है। ● रक्षा निर्यात में रिकॉर्ड उछाल: वित्त वर्ष 2025-26 के अंत तक भारत का रक्षा निर्यात रिकॉर्ड \$4 बिलियन (4.1 बिलियन डॉलर से अधिक) को पार कर गया, जो 'मेक इन इंडिया' की सफलता को दर्शाता है।
--	---

निष्कर्ष (Conclusion)

फरवरी 2026 की वैज्ञानिक घटनाएँ यह स्पष्ट करती हैं कि ब्रह्मांडीय गतिविधियाँ निरंतर और वैज्ञानिक रूप से अत्यंत महत्वपूर्ण हैं। इन घटनाओं के अध्ययन से न केवल उपग्रह संचार और GPS जैसी प्रणालियों की सटीकता में सुधार होता है, बल्कि अंतरिक्ष मौसम (space weather) की समझ भी विकसित होती है। अंतरिक्ष एजेंसियों द्वारा उपलब्ध कराए गए डेटा भविष्य के अंतरिक्ष अभियानों की सुरक्षा और सफलता के लिए महत्वपूर्ण आधार प्रदान करते हैं। साथ ही, ऐसी खगोलीय घटनाएँ विद्यार्थियों और आम जनता में विज्ञान के प्रति रुचि और जिज्ञासा को बढ़ाती हैं, जो आने वाले समय में नए वैज्ञानिकों और शोधकर्ताओं को प्रेरित करती हैं। अतः यह कहा जा सकता है कि इन वैज्ञानिक घटनाओं का अध्ययन न केवल तकनीकी दृष्टि से, बल्कि शैक्षिक और सामाजिक दृष्टि से भी अत्यंत उपयोगी है।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. https://en.wikipedia.org/wiki/2026_in_science
2. <https://universemagazine.com/en/astronomical-events-of-february-2026-solar-eclipse-for-penguins-and-giant-planets/?srsltid=AfmBOorusnc9-WtW8H4AZCQTa384xlyD8S1tfCPbG7dxM-RyNIWINLZ>
3. <https://defensetech-expo.com/>
4. <https://www.pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=2184938®=3&lang=2>



ZnO नैनोकणों का संश्लेषण सोल- जेल विधि से एवं चारित्रिक गुणों का समीक्षात्मक अवलोकन

हिमांशी यादव*, सत्य पाल सिंह

भौतिकी एवं पदार्थ विज्ञान विभाग, मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- himanshiyadav827@gmail.com

आलेख प्राप्त: १५ अप्रैल २०२६; स्वीकृत: २२ अप्रैल २०२६

प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २५ अप्रैल २०२६

सारांश

जिंक ऑक्साइड (ZnO) नैनोकण अपने अद्वितीय ऑप्टिकल, विद्युत तथा जीवाणुरोधी गुणों के कारण व्यापक रूप से ध्यान आकर्षित कर रहे हैं। इस अध्ययन में ZnO नैनोकणों का संश्लेषण सोल-जेल विधि द्वारा किया गया, जो एक सरल, किफायती तथा प्रभावी तकनीक है और कणों के आकार एवं आकृति को नियंत्रित करने में सक्षम है। जिंक एसीटेट डाइहाइड्रेट को पूर्वगामी (precursor) तथा सोडियम हाइड्रॉक्साइड को स्थिरीकारक एवं अवक्षेपक के रूप में उपयोग किया गया। तैयार सोल को वृद्ध (aging), सुखाने के बाद क्रिस्टलीय ZnO नैनोकण प्राप्त किए गए। संश्लेषित नैनोकणों का विभिन्न विश्लेषणात्मक तकनीकों द्वारा लक्षणन किया गया। एक्स-रे विवर्तन (XRD) ने इनके क्रिस्टलीय स्वभाव और षट्कोणीय बूर्ज्याइड संरचना की पुष्टि की, तथा शेरर समीकरण द्वारा क्रिस्टलाइट आकार की गणना की गई। स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (SEM) से सतही संरचना का अध्ययन किया गया, जबकि FTIR विश्लेषण ने क्रियात्मक समूहों तथा ZnO के निर्माण की पुष्टि की। ये नैनोकण जीवाणुरोधी गतिविधि, गैस सेंसिंग, फोटोकैटलिसिस, UV संरक्षण तथा पर्यावरणीय सुधार में उपयोगी हैं।

सूचक शब्द- नैनोकण, प्रकीर्णन, सेमीकंडक्टर, लिथोग्राफी, एक्स-रे विवर्तन, डिटेक्टर



Synthesis of ZnO Nanoparticles by Sol-gel Method and Observation of Characteristic Properties

Himanshi Yadav*, Satya Pal Singh

Department of Physics and Material Science, Madan Mohan Malaviya University of Technology, Gorakhpur,
Uttar Pradesh, India – 273010

Corresponding author Email*: himanshiyadav827@gmail.com

Received on: 15 April 2026; Accepted: 22 April 2026

Published Online First on: 25 April 2026

ABSTRACT

Zinc oxide (ZnO) nanoparticles have gained considerable attention owing to their unique optical, electrical, and antimicrobial properties. In this study, ZnO nanoparticles were synthesized using the sol-gel method, a simple, cost-effective, and efficient technique that enables controlled particle size and morphology. Zinc acetate dihydrate was used as the precursor, and sodium hydroxide served as the stabilizing and precipitating agent. The prepared sol was aged, and dried to obtain crystalline ZnO nanoparticles. The synthesized nanoparticles were characterized using various analytical techniques. X-ray diffraction (XRD) confirmed their crystalline nature and hexagonal wurtzite structure, and the crystallite size was calculated using the Scherrer equation. Scanning Electron Microscopy (SEM) was used to reveal the surface morphology. FTIR analysis confirmed the functional groups and ZnO formation. These nanoparticles have promising applications in antibacterial activity, gas sensing, photocatalysis, UV protection, and environmental remediation.

Keywords – Nanoparticles, Scattering, Semiconductor, Lithography, X-ray Diffraction, Detector

नैनोकण क्या हैं?

नैनोकण नैनोमीटर श्रेणी के सूक्ष्म कण होते हैं, जिनका आकार लगभग 1–100 नैनोमीटर के बीच होता है। अत्यंत छोटे आकार के कारण ये नम आँखों से दिखाई नहीं देते तथा पारंपरिक सूक्ष्मदर्शी से इनका अवलोकन कठिन होता है। इनका सतह-से-आयतन अनुपात अधिक होने के कारण इनके भौतिक एवं रासायनिक गुण अपने स्थूल पदार्थों से भिन्न होते हैं। नैनोकणों का निर्माण धातु, अर्धचालक, सिरेमिक एवं पॉलिमर जैसी विभिन्न सामग्रियों से किया जाता है तथा इनके आकार, आकृति एवं सतही गुणों को नियंत्रित कर इन्हें विशिष्ट अनुप्रयोगों के लिए अनुकूलित किया जा सकता है। नैनोकण आधुनिक विज्ञान और प्रौद्योगिकी में अत्यंत महत्वपूर्ण हो गए हैं। चिकित्सा क्षेत्र में इनका उपयोग लक्षित औषधि वितरण, कैंसर उपचार तथा

इमेजिंग तकनीकों में किया जाता है। पर्यावरण संरक्षण में ये जल एवं वायु शुद्धिकरण तथा प्रदूषकों के विघटन में सहायक हैं, जबकि ऊर्जा क्षेत्र में सोलर सेल और बैटरियों की दक्षता बढ़ाने में उपयोगी हैं। इलेक्ट्रॉनिक्स और कृषि में भी इनका व्यापक उपयोग देखा जाता है।

इसी संदर्भ में जिंक ऑक्साइड (ZnO) नैनोकण एक महत्वपूर्ण धातु ऑक्साइड नैनोमैटीरियल हैं, जिनमें उच्च सतह क्षेत्र, उत्कृष्ट ऑप्टिकल गुण एवं उन्नत रासायनिक सक्रियता पाई जाती है। इन्हें sol-gel विधि द्वारा सरल एवं किफायती तरीके से तैयार किया जाता है। ZnO एक अर्धचालक पदार्थ है जिसका बैंड गैप लगभग 3.37 eV होता है, जिससे यह UV क्षेत्र में सक्रिय रहता है। इसके अतिरिक्त, इसमें एंटीबैक्टीरियल गुण होते हैं, जो Reactive Oxygen Species के माध्यम से सूक्ष्मजीवों को नष्ट करते हैं, इसलिए इसका उपयोग चिकित्सा, पर्यावरण, सेंसर एवं कॉस्मेटिक उत्पादों में व्यापक रूप से किया जाता है।^{1,2}

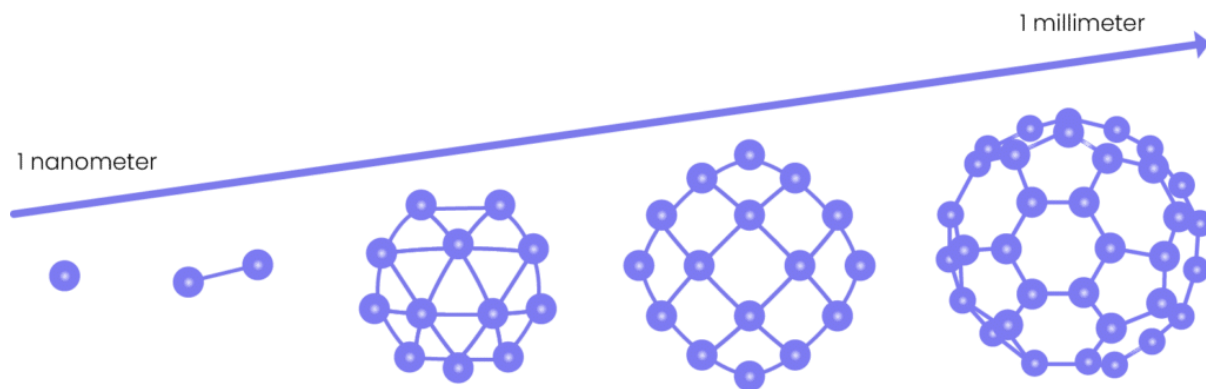


चित्र 1: नैनोकण के विभिन्न क्षेत्रों में अनुप्रयोग का योजनात्मक निरूपण।

नैनोकण का आकार

नैनोकणों का आकार आमतौर पर 1 से 100 नैनोमीटर तक होता है, जो मानव बाल की चौड़ाई से लगभग 1000 गुना छोटा होता है। आकार एक महत्वपूर्ण कारक है जो नैनोकणों के गुणों और व्यवहार को प्रभावित करता है। जब कणों का आकार नैनोस्केल तक कम हो जाता है, तो उनके भौतिक, रासायनिक और प्रकाशीय गुण महत्वपूर्ण रूप से बदल सकते हैं। सामान्यतः, नैनोकणों का आकार घटने के साथ-साथ उनका पृष्ठीय क्षेत्रफल और आयतन का अनुपात बढ़ता है, जिससे सतही परमाणुओं की संख्या और प्रतिक्रियाशीलता बढ़ जाती है। छोटे नैनोकणों की यह उच्च प्रतिक्रियाशीलता उनकी उच्च

पृष्ठीय ऊर्जा के कारण होती है, जो उन्हें उत्प्रेरण और अन्य रासायनिक अनुप्रयोगों के लिए आदर्श बनाती है। नैनोकणों के प्रकाशीय गुण, जैसे अवशोषण, प्रतिदीप्ति और प्रकीर्णन, भी इसी प्रकार आकार पर निर्भर करते हैं। इसके अतिरिक्त, नैनोकणों का आकार उनके जैविक गुणों को भी प्रभावित कर सकता है, जैसे कि जैविक अवरोधों को पार करने या कोशिकाओं के साथ परस्पर क्रिया करने की उनकी क्षमता। छोटे नैनोकण ऊतकों में अधिक गहराई तक प्रवेश कर सकते हैं, जो दवा वितरण अनुप्रयोगों के लिए वांछनीय हो सकता है। हालांकि, नैनोकणों से जुड़े संभावित जोखिमों पर सावधानीपूर्वक विचार करना महत्वपूर्ण है, क्योंकि उनका छोटा आकार उनकी विषाक्तता और पर्यावरणीय प्रभावों को भी बढ़ा सकता है।

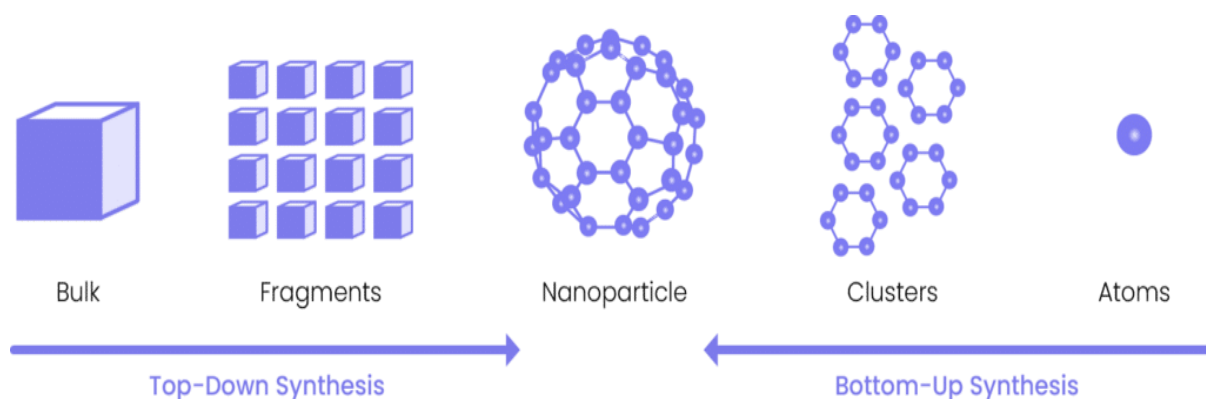


चित्र 2: नैनोकणों का आकार (1–100 nm) और संरचनात्मक परिवर्तन
स्रोत-Nanoparticle - Wikipedia

नैनोकणों का निर्माण कैसे होता है?

नैनोकणों का निर्माण धातुओं, धातु ऑक्साइड, सिरेमिक, अर्धचालकों, पॉलिमर और जैविक लिपिड सहित विभिन्न सामग्रियों से किया जा सकता है। इनका निर्माण दो विधियों में से किसी एक का उपयोग करके किया जाता है: शीर्ष-नीचे संश्लेषण या नीचे-ऊपर संश्लेषण। शीर्ष-नीचे संश्लेषण विधि में,

थोक सामग्रियों को पिसाई, लिथोग्राफी और नक्काशी के माध्यम से छोटे कणों में तोड़ा जाता है। इसके विपरीत, नीचे-ऊपर संश्लेषण विधि में परमाणुओं या अणुओं जैसे छोटे निर्माण खंडों से नैनोकणों का निर्माण किया जाता है, जिसमें (1) रासायनिक संश्लेषण, (2) स्व-संयोजन या (3) जैवखनिजीकरण जैसी तकनीकों का उपयोग किया जाता है।



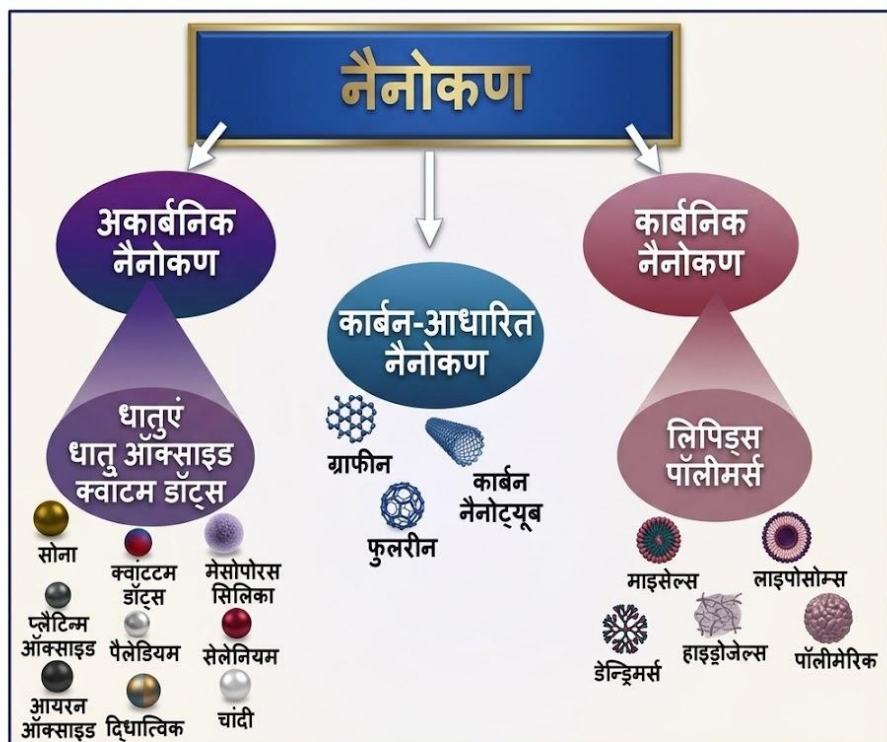
चित्र 3: नैनोकणों का निर्माण: शीर्ष-से-नीचे (Top-Down) और नीचे-से-ऊपर (Bottom-Up) संश्लेषण विधियों द्वारा बल्क पदार्थ से परमाणुओं तक की प्रक्रिया का चित्रण।

स्रोत-Nanoparticle - Wikipedia

नैनोकण का वर्गीकरण (Classification of Nanoparticles)

नैनोकण का वर्गीकरण उनके संरचना, रासायनिक संरूप, उत्पत्ति तथा गुणों के आधार पर किया जाता है। सामान्यतः नैनोकण को चार प्रमुख वर्गों में विभाजित किया जाता है। पहला, धात्विक नैनोकण, जिनमें सोना (Au), चाँदी (Ag) आदि शामिल होते हैं, ये मुख्यतः अपनी उच्च चालकता और एंटीबैक्टीरियल गुणों के लिए जाने जाते हैं। दूसरा, धातु ऑक्साइड नैनोकण, जैसे जिंक ऑक्साइड (ZnO) और टाइटेनियम डाइऑक्साइड (TiO₂), जो

सेमीकंडक्टर गुणों और पर्यावरणीय अनुप्रयोगों के लिए महत्वपूर्ण होते हैं। तीसरा, कार्बन आधारित नैनोकण, जैसे कार्बन नैनोट्यूब और ग्रेफीन, जो अपनी मजबूती और विद्युत गुणों के लिए प्रसिद्ध हैं। चौथा, पॉलिमर आधारित नैनोकण, जो जैव-चिकित्सा क्षेत्र में दवा वितरण के लिए उपयोग किए जाते हैं। इस प्रकार, नैनोकण का वर्गीकरण उनके गुणों और उपयोग के अनुसार किया जाता है, जो विभिन्न वैज्ञानिक और औद्योगिक क्षेत्रों में उनके चयन को आसान बनाता है।



चित्र 4: नैनोकण का वर्गीकरण

नैनोमैटेरियल के संश्लेषण के लिए अपनाए जाने वाले तरीके

नैनोमैटेरियल के संश्लेषण के लिए मुख्यतः दो प्रमुख तरीके उपयोग किए जाते हैं—

टॉप-डाउन (Top-Down) अग्रोच और बॉटम-अप (Bottom-Up) अग्रोच।

टॉप-डाउन अग्रोच (Top-Down Approaches)

टॉप-डाउन अग्रोच में बड़े (बल्क) पदार्थों को छोटे-छोटे भागों में विभाजित करके नैनोसंरचित पदार्थ बनाए जाते हैं। इस विधि में मुख्य तकनीकों में मैकेनिकल मिलिंग, लेजर एब्लेशन, एचिंग, स्पटरिंग तथा इलेक्ट्रो-एक्सप्लोजन शामिल हैं।

मैकेनिकल मिलिंग

एक किरायाती और प्रभावी तकनीक है, जिसके द्वारा बल्क पदार्थों से नैनोस्तर के कण तैयार किए जाते हैं। यह विभिन्न फेज के मिश्रण बनाने तथा नैनोकॉम्पोजिट तैयार करने में सहायक होती है। बॉल मिलिंग के सिद्धांत पर आधारित यह विधि ऑक्साइड और कार्बाइड से सुदृढ़ एल्युमिनियम मिश्रधातु, घिसाव-रोधी कोटिंग्स तथा एल्युमिनियम, निकेल, मैग्नीशियम और कॉपर आधारित नैनोमिश्रधातु बनाने में उपयोगी है। बॉल-मिल्ड कार्बन नैनोमैटेरियल्स ऊर्जा भंडारण, ऊर्जा रूपांतरण और पर्यावरण शोधन में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

इलेक्ट्रोस्पिनिंग

एक सरल टॉप-डाउन तकनीक है, जिसका उपयोग मुख्यतः नैनोफाइबर बनाने के लिए किया जाता है। इसमें प्रायः पॉलिमर का उपयोग होता है। कोएक्सियल इलेक्ट्रोस्पिनिंग इस तकनीक का उन्नत रूप है, जिसमें दो सह-अक्षीय केपिलरी का उपयोग करके कोर-शेल संरचना वाले नैनोफाइबर तैयार किए जाते हैं। यह विधि बड़े पैमाने पर अति-पतले नैनोफाइबर तथा विभिन्न पॉलिमर, अकार्बनिक और हाइब्रिड पदार्थों के निर्माण में अत्यंत प्रभावी है।

लिथोग्राफी

लिथोग्राफी नैनोसंरचनाओं के निर्माण के लिए एक महत्वपूर्ण तकनीक है, जिसमें प्रकाश या इलेक्ट्रॉन की केंद्रित किरण का उपयोग किया जाता है। इसे मुख्यतः दो प्रकारों में विभाजित किया जाता है—मास्कड लिथोग्राफी और मास्कलेस लिथोग्राफी। मास्कड लिथोग्राफी में विशेष मास्क या टेम्पलेट की सहायता से बड़े क्षेत्र पर नैनोपैटर्न बनाए जाते हैं, जैसे फोटोलिथोग्राफी, नैनोइम्प्रिंट और सॉफ्ट लिथोग्राफी। जबकि मास्कलेस लिथोग्राफी में बिना मास्क के सीधे नैनोपैटर्न बनाए जाते हैं, जैसे स्कैनिंग प्रोब, फोकस्ड आयन बीम और इलेक्ट्रॉन बीम लिथोग्राफी।

कणिक्षेपण

कणिक्षेपण एक प्रक्रिया है जिसमें उच्च-ऊर्जा कणों (जैसे प्लाज्मा या गैस आयन) से ठोस सतह पर बमबारी कर नैनोमैटिरियल तैयार किए जाते हैं। यह तकनीक पतली परत (थिन फिल्म) बनाने में प्रभावी है। इसमें आयन टकराव से लक्ष्य सतह से परमाणु बाहर निकलते हैं। यह प्रक्रिया वैक्यूम चैम्बर में होती है और इसमें मैग्नेट्रॉन, रेडियो-फ्रीक्वेंसी तथा DC डायोड स्पटरिंग शामिल हैं। यह कम अशुद्धियों और कम लागत के कारण उपयोगी मानी जाती है।

आर्क डिस्चार्ज विधि

आर्क डिस्चार्ज विधि विभिन्न नैनोस्ट्रक्चर, विशेषकर कार्बन आधारित पदार्थ जैसे फुलरीन, कार्बन नैनोट्यूब, नैनोहॉर्न और ग्रेफीन बनाने के लिए महत्वपूर्ण है। इसमें दो ग्रेफाइट रॉड को हीलियम गैस भरे चैम्बर में रखा जाता है, जहाँ आर्क डिस्चार्ज से कार्बन वाष्पीकृत होकर नैनोकण बनते हैं। ऑक्सीजन या नमी की उपस्थिति फुलरीन के निर्माण को रोकती है। अलग-अलग परिस्थितियों में विभिन्न संरचनाएँ बनती हैं, जैसे अलग गैस वातावरण में अलग आकार के नैनोहॉर्न प्राप्त होते हैं।

लेजर पृथक्करणलेजर

लेजर पृथक्करण में उच्च ऊर्जा लेजर बीम लक्ष्य पदार्थ पर डालकर उसे वाष्पीकृत किया जाता है, जिससे नैनोकण बनते हैं। यह एक ग्रीन तकनीक मानी जाती है क्योंकि इसमें रसायनों की आवश्यकता नहीं होती। इससे धातु, ऑक्साइड, कार्बन और सिरेमिक नैनोमैटिरियल बनाए जा सकते हैं, तथा कणों का आकार लेजर की ऊर्जा और तरंगदैर्घ्य से नियंत्रित किया जा सकता है।

बॉटम-अप अप्रोच (Bottom-Up Approaches)

केमिकल वेपर डिपोजिशन (CVD)

इस विधि में वाष्प अवस्था के प्रीकर्सर की रासायनिक अभिक्रिया द्वारा सबस्ट्रेट पर पतली परत बनाई जाती है। उच्च तापमान पर गैस के विघटन से कार्बन परमाणु निकलते हैं, जो जुड़कर नैनोसंरचना बनाते हैं। उत्प्रेरक की प्रकृति से उत्पाद की संरचना और गुणवत्ता नियंत्रित होती है, जिससे उच्च गुणवत्ता नैनोमैटिरियल प्राप्त होते हैं।

हाइड्रोथर्मल एवं सॉल्वोथर्मल विधि

इन विधियों में बंद पात्र में जलीय या अजलीय माध्यम में उच्च ताप और दाब पर अभिक्रिया कर नैनोमैटिरियल बनाए जाते हैं। यह तकनीक विभिन्न आकार जैसे नैनोवायर, नैनोरॉड, नैनोशीट और नैनोस्फीयर बनाने में उपयोगी है। माइक्रोवेव सहायता से यह प्रक्रिया और तेज तथा अधिक प्रभावी हो जाती है।

टेम्पलेट विधि (सॉफ्ट एवं हार्ड)

इस विधि में सॉफ्ट टेम्पलेट जैसे सफैक्टेंट या पॉलिमर तथा हार्ड टेम्पलेट जैसे सिलिका या कार्बन का उपयोग किया जाता है। टेम्पलेट की संरचना के अनुसार नैनोपोरस सामग्री तैयार होती है। अंत में टेम्पलेट हटाकर इच्छित नैनोसंरचना प्राप्त की जाती है, जिससे विभिन्न जटिल संरचनाएँ आसानी से बनती हैं।

रिवर्स माइसेल विधि

इस तकनीक में पानी-इन-ऑयल माइसेल बनाए जाते हैं, जिनका कोर नैनोरिएक्टर की तरह कार्य करता है। इसमें अभिक्रिया नियंत्रित स्थान पर होती है, जिससे कणों का आकार और वितरण नियंत्रित रहता है। पानी और सफैक्टेंट के अनुपात को बदलकर नैनोकणों के आकार को आसानी से नियंत्रित किया जा सकता है।

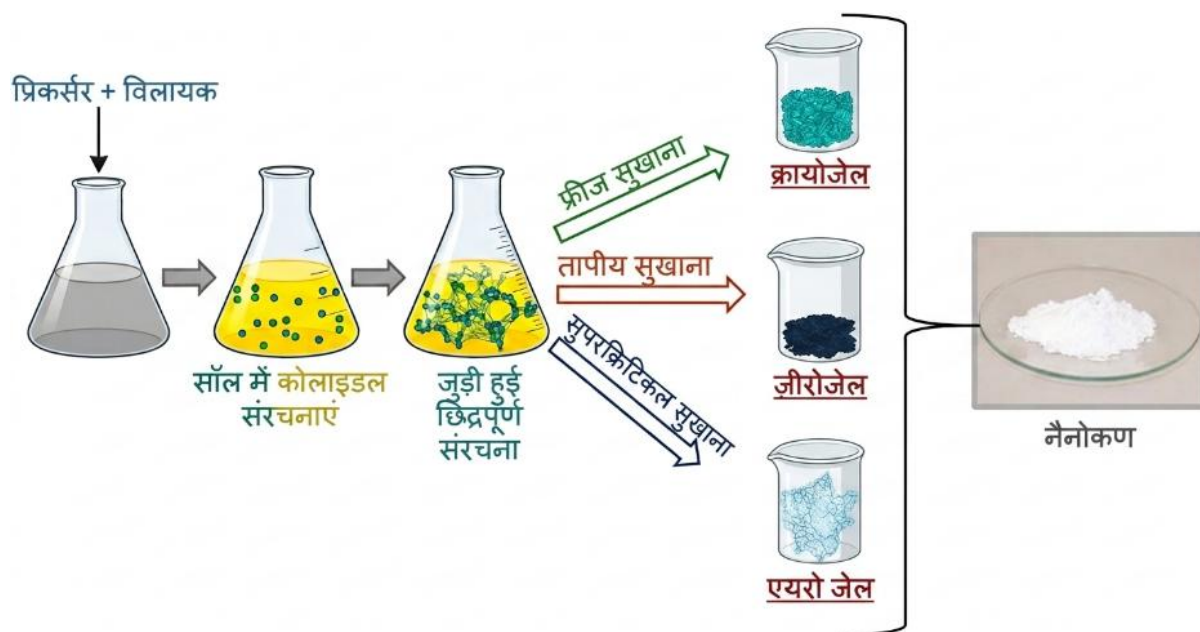


चित्र 5: यह चित्र टॉप-डाउन और बॉटम-अप दृष्टिकोणों के माध्यम से नैनोमैटिरियल्स के संश्लेषण को दर्शाता है।

सोल-जेल विधि

आजकल नैनोकणों के संश्लेषण के लिए कई तकनीकों का उपयोग किया जाता है। हालांकि उपर्युक्त सभी तकनीकें बड़ी मात्रा में नैनोमेटेरियल्स उत्पन्न कर सकती हैं, लेकिन सोल-जेल तकनीक उद्योगों में अधिक व्यापक रूप से उपयोग की जाती है और अधिक लोकप्रिय है। अपनी विशेष विशेषताओं के कारण, यह तकनीक औद्योगिक पैमाने पर समान आकार और आकृति के उच्च-गुणवत्ता वाले नैनोकणों का उत्पादन कर सकती है। यह प्रक्रिया दो या दो से अधिक धातु (या धातु ऑक्साइड) अग्रदूतों को निश्चित अनुपात में मिलाकर एक साथ दो या दो से अधिक विभिन्न प्रकार के नैनोकणों और उनसे बने मिश्र धातुओं का निर्माण कर सकती है। इसके अतिरिक्त, सोल-जेल

प्रक्रिया द्वारा 99.99% शुद्धता वाले अत्यंत समरूप मिश्रित पदार्थ भी बनाए जा सकते हैं। इस विधि में कम या सामान्य प्रसंस्करण तापमान की आवश्यकता होती है, जिससे 70°C से 320°C के तापमान सीमा में धातु और सिरैमिक नैनोमेटेरियल्स का उत्पादन करना अधिक सुविधाजनक हो जाता है। यही कारण है कि यह अन्य पारंपरिक विधियों से बेहतर है। यह एक बॉटम-अप संश्लेषण तकनीक है। अंतिम उत्पाद बनाने के लिए इस प्रक्रिया में कई अपरिवर्तनीय रासायनिक अभिक्रियाएं की जाती हैं। इस प्रक्रिया में शामिल प्रमुख चरण चित्र 6 में दर्शाए गए हैं।

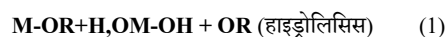


चित्र 6: सोल-जेल प्रक्रिया के पाँच प्रमुख चरणों को दर्शाया गया है।

प्रारंभिक समरूप अणु (सोल) इन प्रतिक्रियाओं से गुजरते हैं और अणुओं के एक भारी, त्रि-आयामी नेटवर्क में परिवर्तित हो जाते हैं, जिसे "जेल" कहा जाता है। धातु ऑक्साइड नैनोकण (MONPs) का व्यापक रूप से ऑप्टिकल उपकरणों, फोटोवोल्टिक प्रणालियों, चिकित्सा प्रणालियों, शुद्धिकरण प्रणालियों, ऊर्जा रूपांतरण, एंटेना और अन्य अनुप्रयोगों में उपयोग किया जाता है। अन्य भौतिक और रासायनिक विधियों की तुलना में उच्च गुणवत्ता वाले धातु ऑक्साइड नैनोकणों के निर्माण के लिए सोल-जेल एक बहुत ही प्रभावी तरीका है। यह तकनीक नैनोकणों की सतह विशेषताओं और उसके परिष्करण पर उत्कृष्ट नियंत्रण प्रदान करती है। ZnO NDS के संश्लेषण के लिए उपयोग की जाने वाली सोल-जेल विधि को चित्र [6] में दर्शाए गए पाँच प्रमुख चरणों का उपयोग करके समझाया जा सकता है।

चरण 1: जल अपघटन: जल अपघटन प्रक्रिया में एल्कोक्साइड का उपयोग अग्रदूत के रूप में किया जाता है। इस अग्रदूत को पानी या अल्कोहल में मिलाकर धातु ऑक्साइड नैनोकण बनाए जाते हैं। धातु ऑक्साइड के निर्माण के लिए ऑक्साइड आवश्यक है और यह पानी या किसी कार्बनिक विलायक

(जैसे अल्कोहल) द्वारा प्रदान किया जाता है। जब जल का उपयोग सोल-जेल विधि में अभिक्रिया माध्यम के रूप में किया जाता है, तो इसे "जलीय सोल-जेल विधि" कहा जाता है। जब कार्बनिक विलायक का उपयोग सोल-जेल विधि में अभिक्रिया माध्यम के रूप में किया जाता है, तो इस प्रक्रिया को "गैर-जलीय सोल-जेल विधि" कहा जाता है। जल अपघटन अग्रदूत, जैसे अम्ल या क्षार, पानी और अल्कोहल के साथ मिलकर इस प्रक्रिया में सहायता करते हैं। जल अपघटन प्रक्रिया में रासायनिक अभिक्रियाओं को इस प्रकार लिखा जा सकता है:



यहाँ M धातु R एल्काइल समूह (CH_n)

पानी की मात्रा जेल की गतिशीलता पर महत्वपूर्ण प्रभाव डालती है। इसकी उपस्थिति से संघनन के दौरान शाखाओं वाली संरचनाओं का निर्माण होता है, जिसके परिणामस्वरूप गतिशीलता बढ़ जाती है।

चरण 2: संघनन: संघनन प्रक्रिया में, बनने वाले अणु व्यवस्थित होकर सघन अवस्थाएँ बनाते हैं। द्रव अवस्था में, जेल का बहुलक जाल कोलाइडल आयामों तक फैलता है, जहाँ धातु ऑक्साइड बंध बनते हैं और अल्कोहल या जल के अणु बाहर निकल जाते हैं। संघनन प्रक्रिया के दौरान ओलेशन और ऑक्सोलेशन प्रक्रियाएँ होती हैं। "ओलेशन" वह प्रक्रिया है जिसके द्वारा दो धातु परमाणुओं (धातु-हाइड्रॉक्सिल-धातु) अणुओं के बीच एक हाइड्रॉक्सिल (-OH) सेतु बनता है। "ऑक्सोलेशन" वह प्रक्रिया है जिसके द्वारा दो धातु परमाणुओं (अर्थात्, धातु-ऑक्सो-धातु बंध) के बीच एक ऑक्सो (-) सेतु बनता है। संघनन प्रक्रिया में होने वाली रासायनिक अभिक्रियाओं को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:



यहाँ M धातु है, X = H या एल्काइल समूह (CH)

विलयन में कोलाइडल कणों के आपस में जुड़ने से एक छिद्रयुक्त द्रव संरचना बनती है जिसे जेल कहते हैं। विलायक की श्यानता बढ़ने पर अंततः संघनन या बहुसंघनन होता है। यह प्रक्रिया विलायक की श्यानता और pH पर निर्भर करती है।

चरण 3: उग्र बढ़ना: उग्र बढ़ने की प्रक्रिया जेल की संरचना और गुणों में निरंतर परिवर्तन के लिए जिम्मेदार है। सीमित विलयन के भीतर संघनन होता है और जेल का पुनः अवक्षेपण होता है, जिसके परिणामस्वरूप संरचना में कमी और कोलाइडल कणों के घनत्व में वृद्धि होती है।

चरण 4: सुखाने की प्रक्रिया: सुखाने की प्रक्रिया बहुत जटिल होती है क्योंकि पानी और कार्बनिक यौगिक दोनों अलग-अलग जेल बनाते हैं जो इसकी संरचना में बाधा डालते हैं। सुखाने की प्रक्रिया कई प्रकार की होती है।

(ए) वायुमंडलीय/तापीय सुखाने

(ख) अतिक्रांतिक सुखाने

(सी) फ्रीज-ड्राइंग

उपरोक्त तीनों का जेल नेटवर्क की संरचना पर अलग-अलग प्रभाव पड़ता है। उच्च तापमान पर, छिद्रयुक्त जेल को गर्म करते समय संपीड़न लागू किया जाता है, जिससे छिद्र समाप्त हो जाते हैं और ज़ेरोजेल प्राप्त होता है।

चरण 5: कैल्सीनेशन प्रक्रिया: नमूने से अवशिष्ट जल अणुओं को हटाने के लिए अंतिम चरण में ऊष्मीय कैल्सीनेशन प्रक्रिया का उपयोग किया जाता है। कैल्सीनेशन प्रक्रिया सामग्री के छिद्र आकार और घनत्व को नियंत्रित करने में एक महत्वपूर्ण पैरामीटर है। कैल्सीनेशन 200°C से 500°C के उच्च तापमान पर किया जाता है।⁷

कैरेक्टराइजेशन तकनीक

एक्स-रे विवर्तन (XRD – X-Ray Diffraction)

एक्स-रे विवर्तन (XRD-X-Ray Diffraction) एक महत्वपूर्ण तकनीक है जिसका उपयोग क्रिस्टलाइन पदार्थों, विशेषकर नैनोकण की संरचना का अध्ययन करने के लिए किया जाता है। इसमें जब एक्स-रे किरणें किसी क्रिस्टल पर डाली जाती हैं, तो वे क्रिस्टल के अंदर मौजूद समांतर परमाणु तल (crystal planes) से टकराकर विभिन्न दिशाओं में विवर्तित हो जाती हैं। यह प्रक्रिया **Bragg's Law** के अनुसार होती है, जिसके अनुसार $n\lambda = 2d\sin\theta$ होता है। जब यह शर्त पूरी होती है, तब कंस्ट्रक्टिव इंटरफेरेंस के कारण XRD पैटर्न में तीव्र पीक्स (peaks) दिखाई देते हैं। XRD यंत्र में एक्स-रे स्रोत से निकलने वाली किरणें सैंपल पर डाली जाती हैं और विवर्तित किरणों को डिटेक्टर द्वारा रिकॉर्ड किया जाता है, जिससे intensity बनाम 2θ का ग्राफ प्राप्त होता है। इस ग्राफ के विश्लेषण से पदार्थ की क्रिस्टल संरचना, फेज, तथा कणों के आकार के बारे में महत्वपूर्ण जानकारी प्राप्त की जाती है। नैनोकणों (Nanoparticles) के आकार को मापने के लिए **Scherrer Formula** सबसे लोकप्रिय तरीका है। जब हम X-Ray Diffraction (XRD) पैटर्न प्राप्त करते हैं, तो उसमें दिखने वाली "peaks" की चौड़ाई हमें कण के आकार (Crystallite size) के बारे में बताती है। इसका गणितीय रूप (Mathematical form) इस प्रकार है:

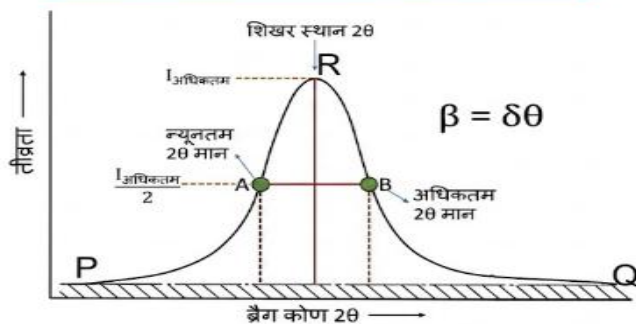
$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3)$$

यहाँ प्रत्येक प्रतीक (Symbol) का अर्थ नीचे दिया गया है:

- **D:** क्रिस्टलाइट आकार (Crystallite size) - यह नैनोकण के औसत आकार को दर्शाता है।
- **K:** आकार कारक (Shape factor) - यह आमतौर पर लगभग 0.9 लिया जाता है (कणों के आकार के आधार पर यह 0.6 से 2.0 तक हो सकता है)।
- **lambda:** एक्स-रे की तरंग दैर्घ्य (X-ray wavelength) - आमतौर पर Cu-K α विकिरण के लिए यह 1.5406 Å होती है।
- **beta:** फुल विड्थ एट हाफ मैक्सिमम (FWHM) - यह XRD पीक की वह चौड़ाई है जो उसकी अधिकतम ऊंचाई के आधे हिस्से पर मापी जाती है। इसे हमेशा रेडियन (Radians) में लिया जाता है।
- **theta:** ब्रैग एंगल (Bragg angle) - यह पीक की स्थिति (Position) का आधा मान होता है।

एक्सआरडी (XRD) का उपयोग करके नैनो-क्रिस्टलाइट का आकार

डेबाई-शेरर सूत्र

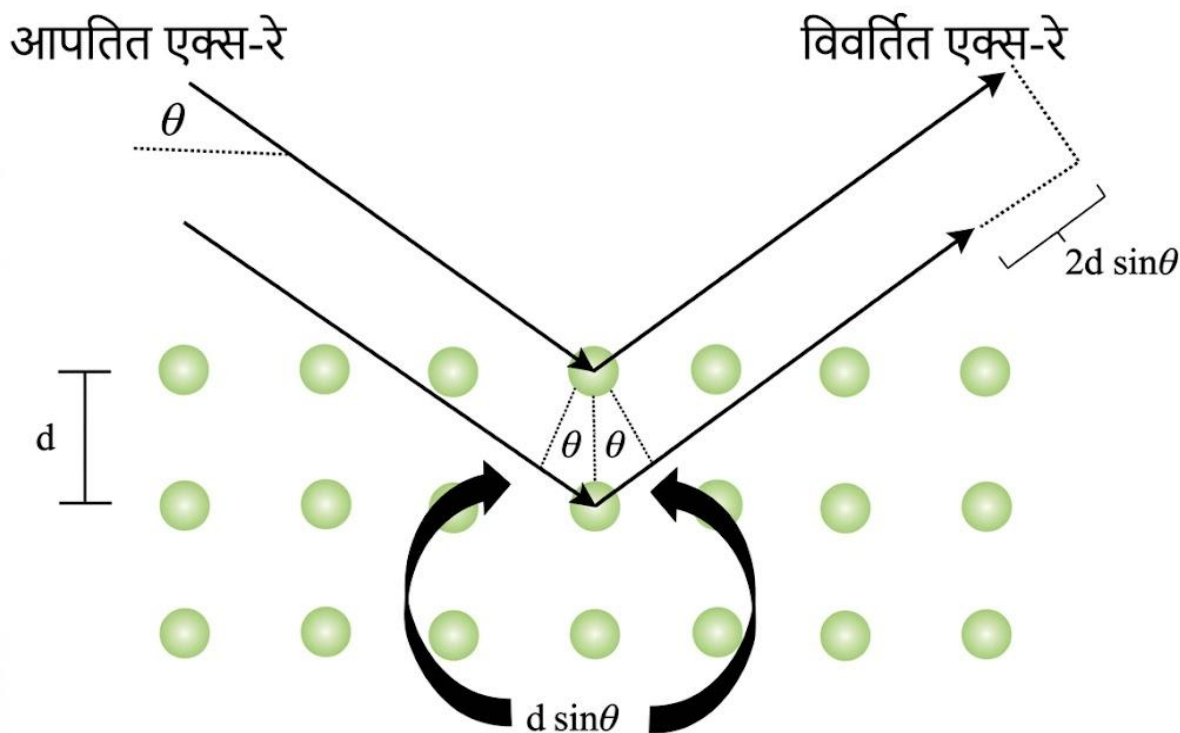


$$D = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta}$$

D क्रिस्टलाइट का आकार है,
 k एक स्थिरांक है (≈ 0.9),
 λ एक्स-रे की तरंग दैर्घ्य है ($\approx 1.54 \text{ \AA}$),
 β रेडियन में पूर्ण चौड़ाई आधी अधिकतम है, और
 θ ब्रैग कोण है

तैयारकर्ता: प्रो. संजीव बड़े (KJSIT, सायन)

चित्र 7: एक्स-रे विवर्तन का सेटअप



$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

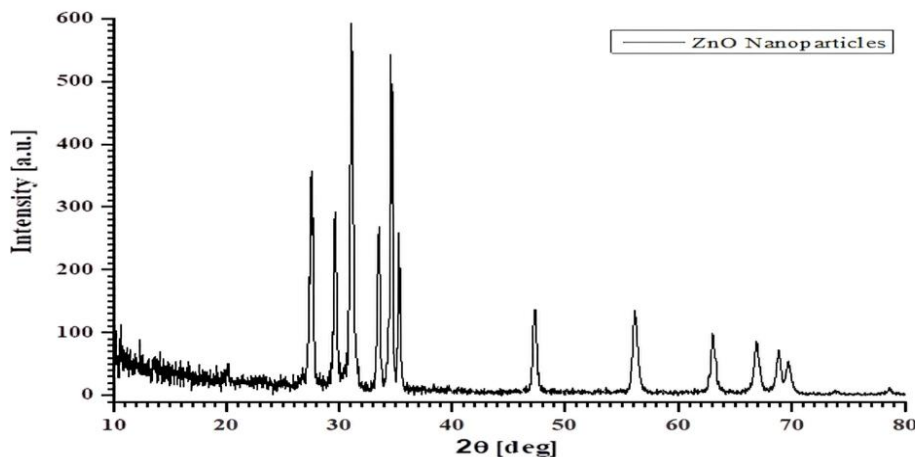
ब्रैग का नियम
 Bragg's Law

चित्र 8: एक्स-रे विवर्तन का सेटअप

एक्स-रे विवर्तन का आरेख

इस पत्रिका में, हमने ZnO नैनोकण को सोल-जेल विधि द्वारा तैयार किया है हालांकि यह चित्र XRD विश्लेषण को दर्शाता है, जबकि हमारे द्वारा तैयार

किए गए ZnO नैनोकण की सतही संरचना को समझने के लिए SEM इमेज का भी उपयोग किया गया है।

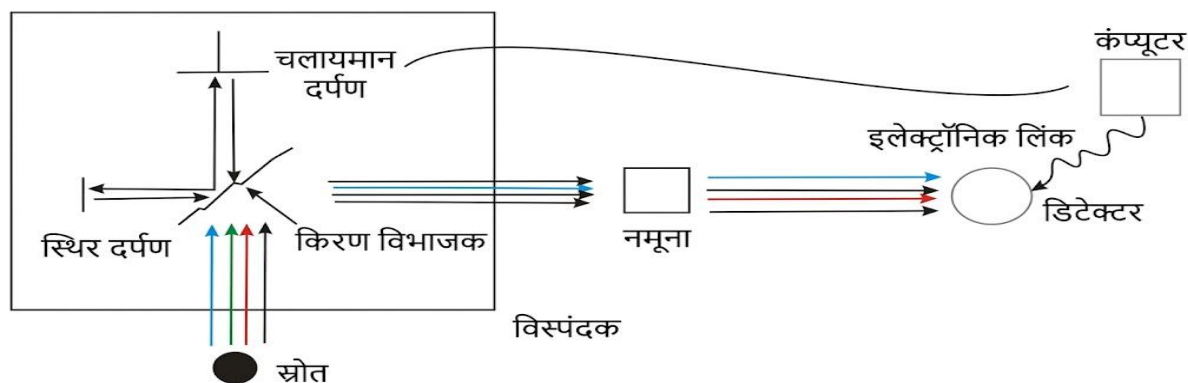


चित्र 9: यह चित्र जिंक ऑक्साइड (ZnO) नैनोकण का XRD (एक्स-रे विवर्तन) पैटर्न दर्शाता है, जिसमें विभिन्न विवर्तन पीक्स जैसे (110), (112), (103) और (201) दिखाई दे रहे हैं। ये पीक्स ZnO की क्रिस्टलीय संरचना की पुष्टि करते हैं और बताते हैं कि संश्लेषित नैनोकण अच्छी तरह से क्रिस्टलाइन हैं।

फूरियर ट्रांसफॉर्म इन्फ्रारेड स्पेक्ट्रोस्कोपी (FTIR)

फूरियर ट्रांसफॉर्म इन्फ्रारेड स्पेक्ट्रोस्कोपी (FTIR) एक महत्वपूर्ण विश्लेषणात्मक तकनीक है, जिसका उपयोग किसी पदार्थ में उपस्थित रासायनिक बंधों तथा फंक्शनल ग्रुप्स की पहचान करने के लिए किया जाता है। इस तकनीक में इन्फ्रारेड किरणें सैंपल पर डाली जाती हैं, जिनमें से कुछ विशेष तरंगदैर्घ्य सैंपल के अणुओं द्वारा अवशोषित कर लिए जाते हैं। प्राप्त सिग्नल को इंटरफेरोमीटर द्वारा संसाधित किया जाता है और कंप्यूटर की

सहायता से फूरियर ट्रांसफॉर्म के माध्यम से स्पेक्ट्रम (ग्राफ) प्राप्त किया जाता है, जिसमें ट्रांसमिटेंस या एब्जॉर्बेंस बनाम वेवनेंबर (cm^{-1}) दर्शाया जाता है। इस स्पेक्ट्रम में प्राप्त पीक्स के आधार पर विभिन्न फंक्शनल ग्रुप्स जैसे $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{CO}$ आदि की पहचान की जाती है। FTIR का उपयोग विशेष रूप से नैनोकण की सतह पर उपस्थित अणुओं, सैंपल की शुद्धता तथा उसकी रासायनिक संरचना के अध्ययन के लिए किया जाता है, इसलिए यह रसायन और नैनोविज्ञान के क्षेत्र में अत्यंत उपयोगी तकनीक है।

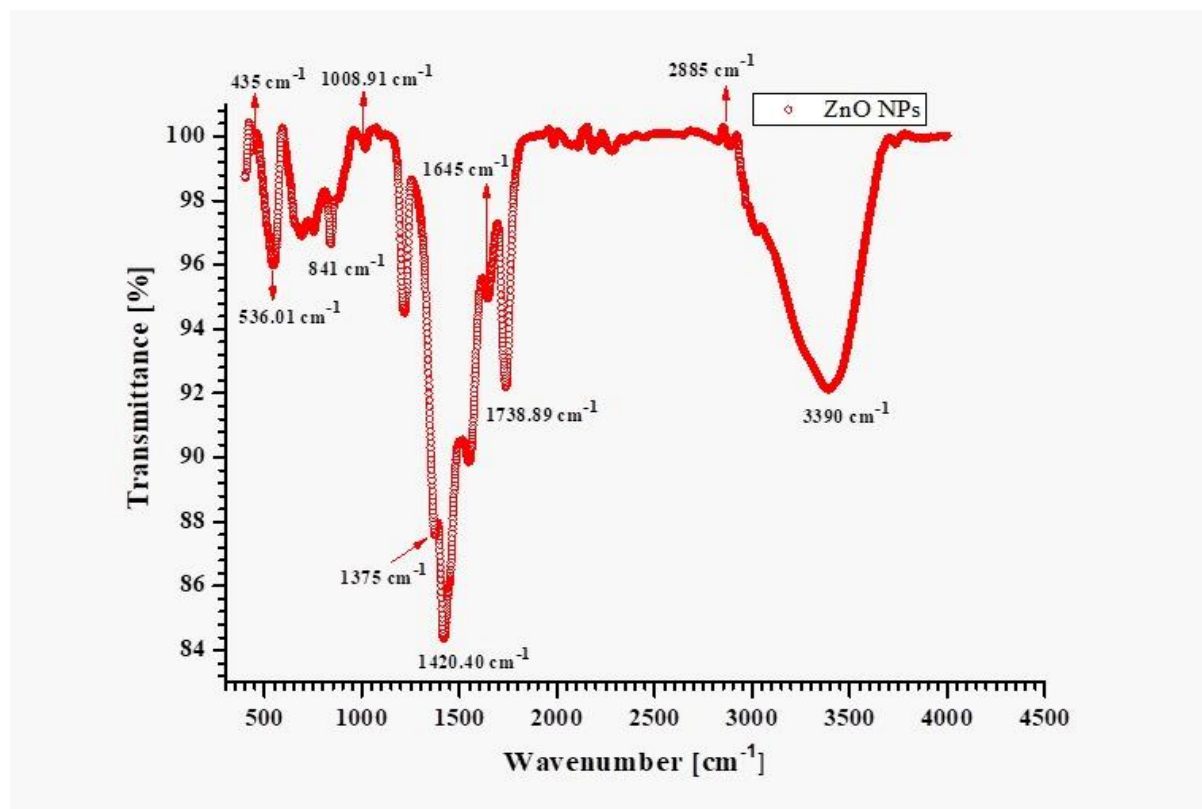


चित्र 10: फूरियर ट्रांसफॉर्म इन्फ्रारेड स्पेक्ट्र

स्रोत- doi:10.3390/ijms20112671

यह चित्र (11) जिंक ऑक्साइड नैनोकणों (ZnO NPs) के FTIR (फूरियर ट्रांसफॉर्म इन्फ्रारेड स्पेक्ट्रोस्कोपी) विश्लेषण को दर्शाता है। यह ग्राफ मुख्य रूप से निम्नलिखित बातों की व्याख्या करता है: रासायनिक बंधों की पहचान: यह स्पेक्ट्रम नमूने में मौजूद विभिन्न कार्यात्मक समूहों (functional groups) और रासायनिक बंधों की पहचान करता है। ग्राफ में नीचे की ओर जाने वाले 'शिखर' (peaks) उन विशिष्ट तरंग संख्याओं (wavenumbers) को दर्शाते हैं जहाँ पदार्थ ने इन्फ्रारेड प्रकाश को अवशोषित किया है। प्रमुख शिखर और उनके अर्थ: 3390 cm^{-1} : यह चौड़ा शिखर आमतौर पर O-H स्ट्रेचिंग को दर्शाता है, जो नैनोकणों की सतह पर सोखे गए पानी या नमी की उपस्थिति

का संकेत देता है। 2885 cm^{-1} : यह C-H बंधों की उपस्थिति को दर्शा सकता है। 1420 cm^{-1} और 1645 cm^{-1} : ये शिखर आमतौर पर C=O या अन्य कार्बनिक अवशेषों के कंपन से संबंधित होते हैं जो संश्लेषण (synthesis) के दौरान उपयोग किए गए रसायनों से रह जाते हैं। 435 cm^{-1} और 536 cm^{-1} : ये सबसे महत्वपूर्ण शिखर हैं। कम तरंग संख्या वाले क्षेत्र में ये शिखर Zn-O बंध के खिंचाव (stretching vibration) की पुष्टि करते हैं, जिससे यह सिद्ध होता है कि जिंक ऑक्साइड का निर्माण हो गया है।^{5,6}



चित्र 11: यह चित्र जिंक ऑक्साइड नैनोकणों (ZnO NPs) के FTIR (फूरियर ट्रांसफॉर्म इन्फ्रारेड स्पेक्ट्रोस्कोपी) विश्लेषण को दर्शाता है।

स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (SEM)

स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (SEM – Scanning Electron Microscopy) एक उन्नत तकनीक है जिसका उपयोग किसी पदार्थ की सतह (surface morphology) और सूक्ष्म संरचना को बहुत अधिक आवर्धन (magnification) पर देखने के लिए किया जाता है। इसमें प्रकाश (light) की जगह इलेक्ट्रॉन बीम (electron beam) का उपयोग किया जाता है, जिससे नैनोमीटर स्तर तक की जानकारी प्राप्त की जा सकती है।

SEM के कार्य सिद्धांत में, एक इलेक्ट्रॉन गन से उच्च ऊर्जा वाले इलेक्ट्रॉनों की किरण उत्पन्न की जाती है, जिसे वैक्यूम में रखे गए सैंपल की सतह पर फोकस किया जाता है। यह इलेक्ट्रॉन बीम सैंपल की सतह पर स्कैन (scan) करती है और जब इलेक्ट्रॉन सैंपल के परमाणुओं से टकराते हैं, तो विभिन्न प्रकार के सिग्नल जैसे secondary electrons और backscattered electrons उत्पन्न होते हैं। इन सिग्नलों को डिटेक्टर द्वारा संग्रहित किया जाता है और कंप्यूटर की सहायता से इन्हें एक इमेज में परिवर्तित किया जाता है। यह

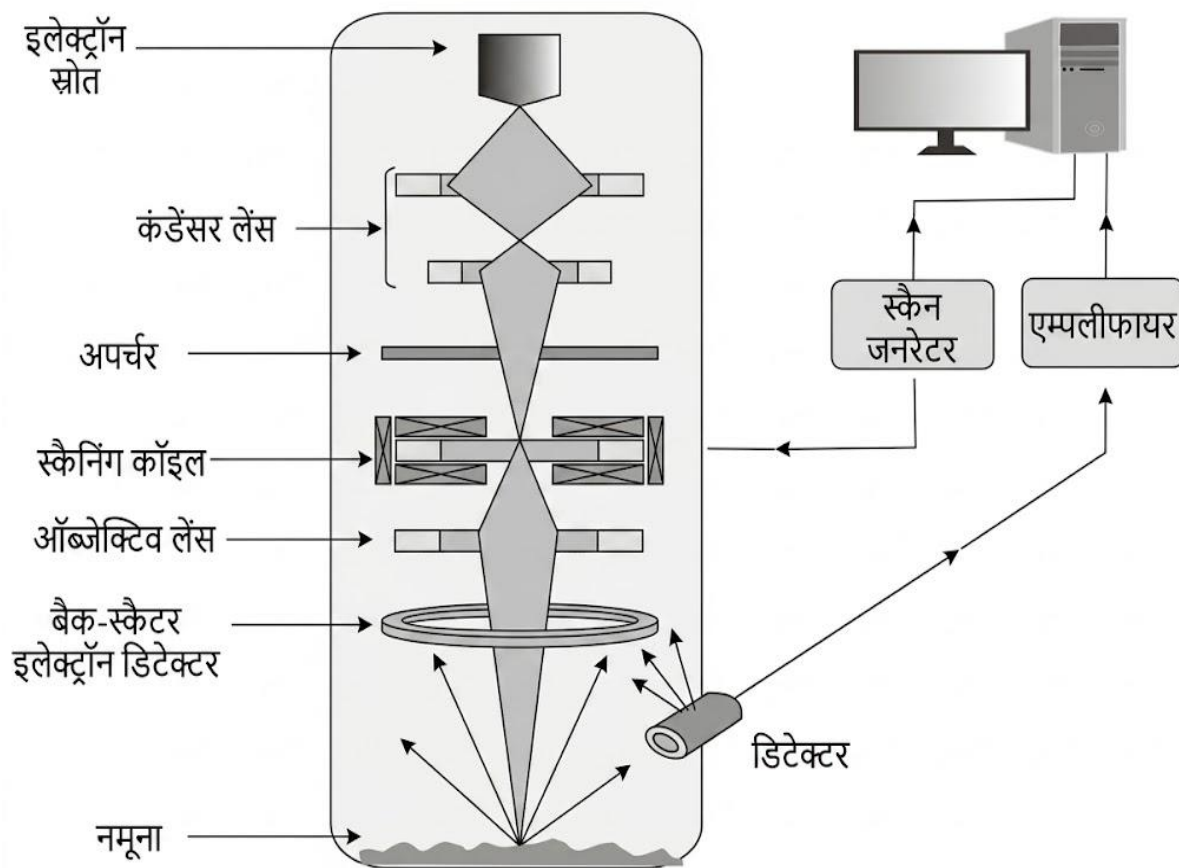
इमेज सैंपल की सतह की बनावट, आकार, और संरचना को स्पष्ट रूप से दर्शाती है।

SEM से हमें कणों का आकार (particle size), सतह की संरचना (surface morphology), और सामग्री की बनावट (texture) के बारे में महत्वपूर्ण जानकारी मिलती है, इसलिए यह तकनीक नैनोकण के अध्ययन में बहुत उपयोगी मानी जाती है। TEM (Transmission Electron Microscopy) में इलेक्ट्रॉन बीम सैंपल के आर-पार गुजरती है। इसके लिए नमूना (Sample) अत्यंत पतला (≤ 100 nm) होना चाहिए। यह तकनीक परमाणु स्तर पर आंतरिक संरचना, क्रिस्टल लैटिस और जाली (Lattice) के सटीक विश्लेषण के लिए बेहतर है, जिससे उच्च रिज़ॉल्यूशन वाली 2D इमेज प्राप्त होती है।

इसके विपरीत, SEM (Scanning Electron Microscopy) इलेक्ट्रॉन बीम को सैंपल की सतह पर स्कैन करता है। यह मुख्य रूप से सतह की

बनावट (Topography) और कणों के आकार का 3D अहसास कराने वाली इमेज देता है। जहाँ SEM में थोड़े मोटे नमूनों का उपयोग किया जा सकता है, वहीं TEM आंतरिक विवरण और सूक्ष्म संरचनात्मक गहराई के लिए श्रेष्ठ माना जाता है।

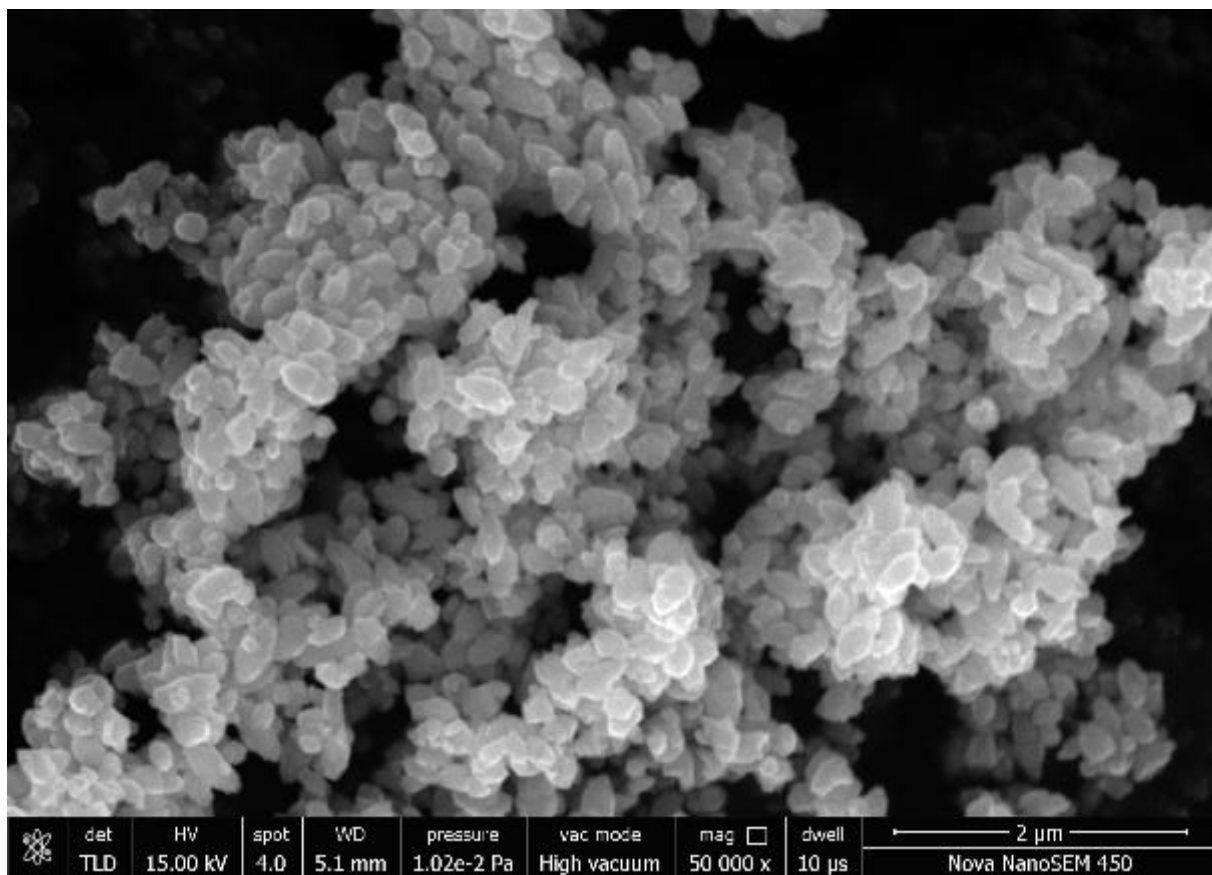
इस पत्रिका में, हमने ZnO नैनोकण को सोल-जेल विधि द्वारा तैयार किया है, और प्रस्तुत SEM इमेज उन्हीं संश्लेषित नैनोकणों की संरचना एवं सतह का विश्लेषण प्रदर्शित करती है।



चित्र 12: स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (SEM) का आरेख

यह चित्र (13) यह SEM (Scanning Electron Microscope) इमेज Zinc Oxide (ZnO) नैनोकणों (Nanoparticles) की शारीरिक संरचना और उनके जमाव (Morphology and Aggregation) को प्रदर्शित कर रही है। इमेज के निचले हिस्से में दिए गए डेटा के अनुसार, इसे 50,000 गुना (50,000 x) आवर्धित किया गया है और इसमें 2 μm (माइक्रोमीटर) का स्केल बार दिया गया है, जिससे यह स्पष्ट होता है कि व्यक्तिगत नैनोकणों का आकार लगभग 100 से 300 नैनोमीटर के बीच है। कणों का आकार मुख्य रूप से अंडाकार (Oval) या चावल के दाने (Grain-like) जैसा

दिखाई दे रहा है, जो आपस में जुड़कर गुच्छे (Clusters) बना रहे हैं, जिसे वैज्ञानिक भाषा में 'Agglomeration' कहा जाता है। कणों की सतह काफी स्पष्ट है और उनकी बनावट एकसमान (Uniform) प्रतीत होती है, जो उच्च गुणवत्ता वाले संश्लेषण (Synthesis) को दर्शाती है। इस प्रकार की सूक्ष्म संरचना ZnO के उच्च सतह-क्षेत्र (Surface Area) को इंगित करती है, जो इसे फोटोकैटलिसिस (Photocatalysis), गैस सेंसर और सौर सेल (Solar Cells) जैसे अनुप्रयोगों के लिए बेहद प्रभावी बनाती है।



चित्र 13: यह चित्र जिंक ऑक्साइड (ZnO) नैनोकण का SEM (स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी) इमेज दर्शाता है।

उपसंहार

इस अध्ययन में नैनोकणों (Nanoparticles) के गुण, निर्माण विधि तथा उनके अनुप्रयोगों का सफलतापूर्वक वर्णन किया गया है। नैनोकण 1–100 नैनोमीटर आकार के सूक्ष्म कण होते हैं, जिनमें उच्च सतह क्षेत्र और विशिष्ट भौतिक एवं रासायनिक गुण पाए जाते हैं, जिससे वे विभिन्न क्षेत्रों में अत्यंत उपयोगी होते हैं। इस शोध में नैनोकणों के संश्लेषण के लिए सोल-जेल विधि (Sol-Gel Method) का उपयोग किया गया। इस प्रक्रिया में प्रीकर्सर (जैसे जिंक एसीटेट) को विलायक में घोलकर सोल तैयार किया गया, जो आगे चलकर रासायनिक अभिक्रियाओं द्वारा जेल में परिवर्तित हो गया। प्राप्त जेल को सुखाकर (drying

process) नैनोकण प्राप्त किए गए। इस विधि की विशेषता यह है कि इसमें कम लागत में सरल तरीके से नियंत्रित आकार एवं संरचना के नैनोकण तैयार किए जा सकते हैं। तैयार किए गए जिंक ऑक्साइड (ZnO) नैनोकण अपने उत्कृष्ट गुणों के कारण विभिन्न क्षेत्रों में उपयोगी पाए गए हैं। इनके प्रमुख अनुप्रयोगों में एंटीबैक्टीरियल गतिविधि, गैस सेंसर, ऑप्टिकल उपकरण, सोलर सेल तथा पर्यावरण शुद्धिकरण शामिल हैं। अतः निष्कर्ष रूप में कहा जा सकता है कि सोल-जेल विधि द्वारा केवल ड्राइंग प्रक्रिया अपनाकर भी प्रभावी रूप से नैनोकण तैयार किए जा सकते हैं। यह विधि सरल, किफायती और उपयोगी है, तथा इससे प्राप्त नैनोकण भविष्य में वैज्ञानिक एवं औद्योगिक क्षेत्रों में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकते हैं।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. Sharma, S., Singh, A. K. & Singh, S. P. Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles prepared by green routes: Controlling morphologies by maintaining pH. *Phys. Scr.* **99**, 1059b9 (2024). DOI- 10.1088/1402-4896/ad7ae2
2. Singh, S. P., Himanshi Yadav et al. Novel approach to enhance antifungal properties via formation of wavy and Sharp microstructures composed of metal oxide nanoparticles and Cdots. *Scientific Reports*,15:25483,1–27 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10897-z>
3. Nadeem Biag et al. Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges *Mater. Adv.*, 2, 1821-1871 (2021) DOI: 10.1039/d0ma00807a
4. Hasnidawani, J. N. et al. Synthesis of ZnO Nanostructures Using Sol-Gel Method. *Procedia Chem.* **19**, 211–216 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.095>
5. Singh, A. K. & Singh, S. P. Formation of nano and micro scale hierarchical structures in MgO and ZnO quantum dots doped LC media: The role of competitive forces. *Condens. Matter Phys.*26, 1–22 (2023). DOI:10.5488/CMP.26.43602
6. Ondijo, C., Kengara, et al. I. Synthesis, Characterization, and Evaluation of the Remediation Activity of Cissus quadrangularis Zinc Oxide Nanoparticle-Activated Carbon Composite on Dieldrin in Aqueous Solution. *J. Nanotechnol.*2022, (2022). <https://doi.org/10.1155/2022/2055024>
7. Dr. Satya Pal Singh, *Fundamentals of Nanoscience and Nanotechnology*, 1st ed. 2024, New Narosa Publishing House Pvt. Ltd, New delhi, India, ISBN: 978-81-8487-739-7



मध्य भारत-गंगा मैदान के शहरी क्षेत्र वाराणसी में ब्लैक कार्बन की परिवर्तनशीलता और स्रोत का विभाजन

प्रशांत कुमार चौहान, रमाकांत तिवारी, अभय कुमार सिंह*

भौतिक विज्ञान विभाग, बनारस हिन्दू विश्वविद्यालय, वाराणसी, उत्तर प्रदेश, भारत-२२१००५
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- singhak@bhu.ac.in

आलेख प्राप्त: १९ मार्च २०२६; संशोधित: ०४ अप्रैल २०२६; स्वीकृत: ०४ अप्रैल २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २५ अप्रैल २०२६

सारांश

ब्लैक कार्बन (बीसी) एक खास प्रकाश अवशोषित करने वाला एरोसोल है जो क्षेत्र की हवा की गुणवत्ता, मानव स्वास्थ्य और जलवायु पर काफी असर डालता है। इस अध्ययन में, वाराणसी में बीसी के समय के बदलाव और स्रोत में योगदान की जांच की गई, जो भारत के बीच के भारत-गंगा के मैदान (आईजीपी) में एक घनी आबादी वाला शहरी केंद्र है। दिसंबर 2020 से नवंबर 2021 तक सात-तरंगदैर्घ्य वाले एथैलोमीटर (ईई-33) का इस्तेमाल करके लगातार माप किए गए, जिसका समय निर्धारण एक मिनट था। जीवाश्म ईंधन के जलने (बीसी_{ff}) और जैव ईंधन के जलने (बीसी_{bb}) से होने वाले योगदान को मापने के लिए एथैलोमीटर मॉडल का इस्तेमाल किया गया। नतीजों से बीसी सांद्रता में साफ मौसमी और रोजाना बदलाव का पता चलता है। सबसे ज्यादा सांद्रता सर्दियों में (जनवरी में ~11 माइक्रोग्राम/मीटर³), ज्यादा उत्सर्जन और खराब मौसम की वजह से देखा गया, जबकि सबसे कम स्तर मानसून के दौरान (~1-1.5 माइक्रोग्राम/मीटर³) बारिश और अच्छे वायुमंडलीय मिश्रण की वजह से देखा गया। मानसून के बाद के समय में बीसी सांद्रता फिर से बढ़ गया (~6-7 माइक्रोग्राम/मीटर³), जिसका ज्यादातर असर इलाके में कृषि अवशेष जलाने से हुआ। सुबह (07:00-09:00) और शाम (19:00-22:00) के समय शिखर के साथ एक साफ स्पष्ट द्विमोडल दैनिक स्वरूप देखा गया, जो यातायात उत्सर्जन और घरेलू ईंधन जलने से जुड़ा था। सीमा परत की ऊंचाई कम होने के कारण रात के समय सांद्रता दिन के दौरान के मान की तुलना में लगातार अधिक थी। स्रोत के बंटवारे से पता चलता है कि जीवाश्म ईंधन के जलने से बीसी उत्सर्जन सबसे ज्यादा होता है, जो कुल बीसी का 60-85% हिस्सा है, जबकि जैव ईंधन के जलने से 15-40% हिस्सा होता है, जिसका असर सर्दियों और मानसून के बाद के मौसम में ज्यादा होता है। ये नतीजे बताते हैं कि मध्य आईजीपी में बीसी स्तर को नियंत्रण करने में शहरी जीवाश्म ईंधन उत्सर्जन का अहम रोल है, और हवा की गुणवत्ता सुधारने और क्षेत्र में मौसम के असर को कम करने के लिए लक्षित शमन रणनीति की ज़रूरत पर जोर देते हैं।

सूचक शब्द - ब्लैक कार्बन, जीवाश्म ईंधन, जैव ईंधन, भारत-गंगा का मैदान



Variability and Source segregation of Black Carbon in Varanasi, an Urban Area in the Central Indo-Gangetic Plain

Prashant Kumar Chauhan, Ramakant Tiwari, Abhay Kumar Singh
Department of Physics, Banaras Hindu University, Varanasi, Uttar Pradesh, India – 221005
Corresponding Author Email*: singhak@bhu.ac.in

Received On: 19 March 2026; Final Revision: 04 April 2026; Accepted On: 04 April 2026
Published Online First: 25 April 2026

ABSTRACT

Black carbon (BC) is a specific light-absorbing aerosol that has a significant impact on the region's air quality, human health, and climate. In this study, the contribution to the time shift and source of BC in Varanasi, a densely populated urban centre in the Indo-Gangetic Plain (IGP) of central India, was examined. Continuous measurements were made from December 2020 to November 2021 using a seven-wavelength aethalometer (AE-33), timed to one minute. The ethylometer model was used to measure the contribution from fossil fuel burning (BCFF) and biofuel burning (BCBB). The results reveal clear seasonal and diurnal variations in BC concentrations. The highest concentrations were observed in winter ($\sim 11 \mu\text{g} / \text{m}^3$ in January) due to higher emissions and poor weather, while the lowest levels were observed during monsoon ($\sim 1-1.5 \mu\text{g} / \text{m}^3$) due to rainfall and good atmospheric mixing. In the post-monsoon period, the BC concentration again increased ($\sim 6-7 \mu\text{g} / \text{m}^3$), largely due to agricultural residue burning in the area. A clear bimodal diurnal pattern was observed, with peaks in the morning (07:00-09:00) and evening (19:00-22:00), associated with traffic emissions and household fuel burning. Because of the low boundary layer height, night-time concentrations were consistently higher than daytime values. Source sharing shows that BC emissions from burning of fossil fuels are the highest, accounting for 60-85% of the total BC, while biofuel burning accounts for 15-40%, with a higher impact in winter and post-monsoon season. These results suggest that urban fossil fuel emissions play an important role in controlling BC levels in the central IGP, and emphasise the need for targeted mitigation strategies to improve air quality and reduce weather impacts in the region.

Keywords: Black carbon, fossil fuels, biofuels, Indo-Gangetic Plain

लेखक परिचय

प्रशांत कुमार चौहान

भारत की बनारस हिंदू यूनिवर्सिटी (बीएचयू) में एक उभरते हुए वायुमंडलीय वैज्ञानिक और भौतिकी में शोधकर्ता हैं। उनकी शोध वायुमंडलीय एरोसोल और इसके जलवायु पर पड़ने वाले प्रभाव पर है, जिसमें एरोसोल-जलवायु अंतःक्रिया, ब्लैक कार्बन की परिवर्तनशीलता, रेडिएटिव फोर्सिंग और सिंधु-गंगा मैदान की हवा की गुणवत्ता शामिल है जो दुनिया भर में सबसे प्रदूषित और जलवायु के प्रति संवेदनशील क्षेत्रों में से एक है। पीएचडी कार्यक्रम में शामिल होने से पहले, उन्होंने जी.बी. पंत नेशनल इंस्टीट्यूट ऑफ हिमालयन एनवायरनमेंट में प्रोजेक्ट फेलो के तौर पर काम किया, जहाँ उन्होंने उत्तर-पश्चिमी हिमालयी क्षेत्रों में एरोसोल जलवायु विज्ञान पर इसरो द्वारा वित्त पोषित शोध में योगदान दिया। उन्होंने एटमोस्फेरिक पॉल्यूशन रिसर्च, फिजिक्स एंड केमिस्ट्री ऑफ द अर्थ, और फ्रंटियर्स इन सस्टेनेबल सिटीज सहित जाने-माने अंतर्राष्ट्रीय पत्रिकाओं में कई विशेषज्ञ-समीक्षित प्रकाशन लिखे हैं। वह राष्ट्रीय और अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन, खासकर यूरोपियन एरोसोल कॉन्फ्रेंस (फिनलैंड) में प्रस्तुतीकरण के जरिए वैज्ञानिक समुदायों के साथ भी सक्रिय रूप से जुड़े रहे हैं, साथ ही एरोसोल माप और जलवायु पर पड़ने वाले प्रभाव पर खास प्रशिक्षण कार्यक्रम भी किए हैं। मशहूर सीएसआईआर-यूजीसी जूनियर रिसर्च फेलोशिप (AIR-118) पाने वाले प्रशांत, वायु प्रदूषण और जलवायु परिवर्तन की वैज्ञानिक समझ को आगे बढ़ाने के लिए प्रतिबद्ध हैं। उनकी दीर्घकालिक दृष्टि, प्रभावी शोध और वैश्विक सहयोग के जरिए सतत पर्यावरण नीति और बेहतर वायु गुणवत्ता में योगदान देना है।



प्रशांत कुमार चौहान

प्रो. अभय कुमार सिंह

अपने शानदार पेशेवर करियर के दौरान प्रो. अभय कुमार सिंह ने शिक्षण और अनुसंधान के क्षेत्र में बेहतरीन योगदान दिया है। वे कम अक्षांशों पर ऊपरी वायुमंडल के श्लेस वेदरश; अंतरिक्ष मौसमद्वय अध्ययन और सिंधु-गंगा बेसिन के ऊपर एरोसोल की विशेषताओं के क्षेत्र में अपने कई महत्वपूर्ण और उत्कृष्ट योगदानों के लिए जाने जाते हैं। वे फसल अवशेष जलाने से उत्पन्न एरोसोल और पूरे सिंधु-गंगा बेसिन क्षेत्र में उनके लंबी दूरी के परिवहन से जुड़े मुद्दों को सुलझाने में सफल रहे हैं। जिसने वैज्ञानिक समुदाय की सोच पर गहरा प्रभाव डाला है। **BATAL** अभियानों की एक श्रृंखला के माध्यम से एशियाई ट्रोपोस्फीयर एरोसोल; अटलद्वय परत में प्रदूषित एरोसोल की प्रकृति निर्माण और परिवहन पर किए गए उनके अध्ययन ने अटल की कई अनसुलझी विशेषताओं को उजागर किया है। सूर्य ग्रहण पर किए गए उनके अध्ययन जिसका विश्लेषण पहली बार आठ अलग-अलग शहरों में किया गया। ने सौर विकिरण और सतह पर मौजूद ओजोन में महत्वपूर्ण कमी। मौसम संबंधी मापदंडों में गतिशील परिवर्तन और साथ ही वायुमंडलीय गुरुत्वाकर्षण तरंगों द्वारा आयनमंडल में उत्पन्न टीआईडी दोलनों को दर्शाया। उनके कार्यों का उल्लेख पुस्तकों। समीक्षाओं और शोध पत्रों में व्यापक रूप से किया गया है। उनका एच.सूचकांक 39 और i10-सूचकांक 109 है, तथा उनके शोध पत्रों को कुल ४६११ बार उद्धृत किया गया है। प्रो. सिंह ने ३०० से अधिक शोध पत्र प्रकाशित किए हैं, १६ पीएचडी छात्रों का मार्गदर्शन किया है, और ४ करोड़ रुपये की लागत वाली १६ अनुसंधान परियोजनाओं को सफलतापूर्वक पूरा किया है। उन्होंने अकेले ही 'एटमोस्फेरिक रिसर्च लैब' (वायुमंडलीय अनुसंधान प्रयोगशाला) की स्थापना की। जिसे इसरो द्वारा मान्यता प्राप्त है। उन्होंने स्वीडन के उमेआ विश्वविद्यालय में एक वर्ष तक 'बॉयज़कास्ट फेलो' के रूप में कार्य किया। प्रो. सिंह ने कई देशों का दौरा किया। जिनमें नीदरलैंड। इटली। स्वीडन। हंगरी। जापान। दक्षिण कोरिया। तथा अमेरिका के न्यू ऑरलियन्स, पासाडेना और बोस्टन शामिल हैं। उनमें एक प्रभावशाली वैज्ञानिक दृष्टिकोण। प्रयोगात्मक कौशल। उच्च गुणवत्ता वाला शोध कार्य और विशिष्ट शैक्षणिक क्षमताएँ हैं।



प्रो. अभय कुमार सिंह

1. प्रस्तावना

ब्लैक कार्बन (बीसी) वायुमंडलीय एरोसोल के सबसे ज़रूरी प्रकाश अवशोषित करने वाले घटकों में से एक है और यह मुख्य रूप से कार्बोनिक ईंधन के अधूरे जलने से बनता है। मुख्य उत्सर्जन स्रोतों में गाड़ियों और औद्योगिक गतिविधि से जीवाश्म ईंधन का जलना, घरों में जैव ईंधन का इस्तेमाल, कोयला जलाना, और जंगल की आग और खेती के बचे हुए जैव ईंधन को खुले में जलाना शामिल है [1, 2]। एक बड़ी वर्णक्रमीय श्रेणी में सौर विकिरण को अवशोषित करने की अपनी मजबूत क्षमता के कारण, बीसी पृथ्वी के विकिरण संतुलन पर काफी असर डालता है और इसे कार्बन डाइऑक्साइड के बाद सबसे ज़रूरी अल्पकालिक जलवायु बलों में से एक माना जाता है [3]। अपने जलवायु पर असर के अतिरिक्त, बीसी वायुमंडलीय प्रदूषण में भी काफी योगदान देता है और इसके स्वास्थ्य पर गंभीर प्रभाव पड़ते हैं, जिसमें सांस और हृदय की रक्तवाहिकाओं संबंधी बीमारियां शामिल हैं [4]। बीसी कण ज्यादातर महीन पार्टिकुलेट मैटर (पीएम_{2.5}) से जुड़े होते हैं और आम तौर पर वायुमंडलीय जीवनकाल कई दिनों से लेकर लगभग कुछ हफ्ते तक होता है, जिससे वे क्षेत्रीय और महादेशीय स्तर पर लंबी दूरी तक परिवहित हो सकते हैं [1]। उत्सर्जन के बाद, बीसी कण संघनन और जमाव जैसी प्रक्रिया के ज़रिए सल्फेट्स, नाइट्रेट्स और जैविक एरोसोल जैसे अन्य वायुमंडलीय घटकों के साथ प्रतिक्रिया कर सकते हैं। ये एजिंग प्रक्रियाएं अंदरूनी मिश्रित कणों का कारण बनती हैं जो एरोसोल के सूक्ष्म-भौतिक और प्रकाशीय गुणों को प्रभावित करती हैं, जिससे विकिरण को अवशोषित करने और बिखरने की उनकी क्षमता के साथ-साथ उनके बादल संघनन नाभिकीय गतिविधि पर भी असर पड़ता है [5, 6]। बीसी द्वारा सौर विकिरण के अवशोषण से वायुमंडलीय तापन हो सकता है, जबकि साथ ही पृथ्वी की सतह तक पहुंचने वाले सौर विकिरण में कमी आ सकती है, जिससे वायुमंडलीय स्थिरता, बादल निर्माण और क्षेत्रीय जल विज्ञान चक्र पर असर पड़ता है [2]।

आईजीपी को बीसी उत्सर्जन के वैश्विक हॉटस्पॉट में से एक माना जाता है, क्योंकि यहाँ आबादी का घनत्व ज्यादा है, शहरीकरण तेजी से हो रहा है, जीवाश्म ईंधन की खपत बहुत ज्यादा है, और जैव ईंधन जलाने की गतिविधियाँ बहुत ज्यादा होती हैं [7]। मध्य आईजीपी में मौजूद शहरी केंद्र, जैसे वाराणसी, में अक्सर गाड़ियों से होने वाले तेज उत्सर्जन, घरों में आग लगने, औद्योगिक गतिविधियों और मौसमी कृषि अवशेष जलाने की वजह से बीसी का स्तर बढ़ जाता है। इसके अलावा, मौसम की स्थिति जैसे कि सीमा परत की कम ऊँचाई, मंद हवाएँ, और सर्दियों में तापमान में बदलाव, सतह के पास बीसी और दूसरे बारीक कणों के जमा होने को बढ़ावा देते हैं, जिससे हवा में गंभीर प्रदूषण होता है [8,9]। अतः, इस क्षेत्र में बीसी की सामयिक परिवर्तनशीलता और स्रोतों को समझना, वायु गुणवत्ता प्रबंधन में सुधार और इसके जलवायु प्रभावों का आकलन करने हेतु आवश्यक है।

बीसी का स्रोत आबंटन, मुख्य उत्सर्जन स्रोतों की पहचान करने और देखी गई सांद्रता में उनके सापेक्षिक योगदान को मापने में अहम भूमिका निभाता है। ऐसी जानकारी असरदार उत्सर्जन नियंत्रण रणनीति बनाने और वायुमंडलीय मॉडल में एरोसोल स्रोत के निरूपण को बेहतर बनाने के लिए ज़रूरी है। बीसी स्रोत आबंटन के लिए कई तरीके विकसित किए गए हैं, जिनमें प्रापक मॉडल, उत्सर्जन इन्वेंट्री विश्लेषण, रेडियोकार्बन (¹⁴C) माप, और एरोसोल अवशोषण की तरंगदैर्घ्य निर्भरता पर आधारित प्रकाशीय विधियाँ शामिल हैं [10, 11]।

इन विधियों में, एथैलोमीटर मॉडल का व्यापक रूप से उपयोग किया गया है क्योंकि इसमें विभिन्न दहन स्रोतों के बीच अंतर करने के लिए एरोसोल प्रकाश अवशोषण की वर्णक्रमीय निर्भरता का उपयोग करने की क्षमता है। यह मॉडल एल्ज़ॉर्ज़ान एंगस्ट्रॉम एक्सपोनेंट (एएई) का इस्तेमाल करता है, जो एरोसोल अवशोषण की तरंगदैर्घ्य निर्भरता को बताता है। जीवाश्म ईंधन के जलने से निकलने वाला बीसी आम तौर पर एक के करीब एएई दिखाता है, जबकि जैव ईंधन जलने से निकलने वाला उत्सर्जन आम तौर पर ज्यादा एएई वैल्यू दिखाता है, क्योंकि इसमें प्रकाश अवशोषित करने वाले जैविक यौगिक होते हैं, जिन्हें आम तौर पर ब्राउन कार्बन [10, 12] कहा जाता है। इस सिद्धांत को लागू करके, एथैलोमीटर मॉडल कुल बीसी को दो मुख्य हिस्सों में

अलग करता है: जीवाश्म ईंधन के जलने से निकलने वाला बीसी (बीसी_g) और जैव ईंधन जलने से निकलने वाला बीसी (बीसी_b)। इस तकनीक का इस्तेमाल शहरी और क्षेत्रीय माहौल में बीसी स्रोत के समय और मौसम के हिसाब से होने वाले बदलाव की जांच करने के लिए बड़े पैमाने पर किया गया है।

अतः, एरोसोल-जलवायु अंतःक्रियाओं की हमारी समझ को सुदृढ़ करने और वायु प्रदूषण व जलवायु प्रभावों को घटाने हेतु प्रभावी योजनाएं विकसित करने के लिए बीसी विशेषताओं और स्रोत योगदान की विस्तृत जाँच-पड़ताल महत्वपूर्ण है, विशेषकर आईजीपी जैसे अत्यंत प्रदूषित क्षेत्रों में।

2. स्थल विवरण और मौसम संबंधी स्थितियाँ

यह अध्ययन बनारस हिंदू यूनिवर्सिटी (बीएचयू), वाराणसी (25.27° N, 82.98° E; समुद्र तल से लगभग 80 मीटर ऊपर) के भौतिकी विभाग में की गई थी। वाराणसी, मध्य आईजीपी में गंगा नदी के किनारे बसा है और लगभग 112 वर्ग किलोमीटर के क्षेत्रफल में फैला है। यह धार्मिक रूप से एक महत्वपूर्ण और घनी आबादी वाला शहरी केंद्र है, जिसकी आबादी का घनत्व भारत की जनगणना (2011) के अनुसार लगभग 2399 व्यक्ति प्रति वर्ग किलोमीटर है। शहर कई छोटे और मध्यम स्तर के उद्योगों से घिरा हुआ है, जो पूरे साल तुलनात्मक रूप से ज्यादा एरोसोल की मात्रा में योगदान करते हैं [13]।

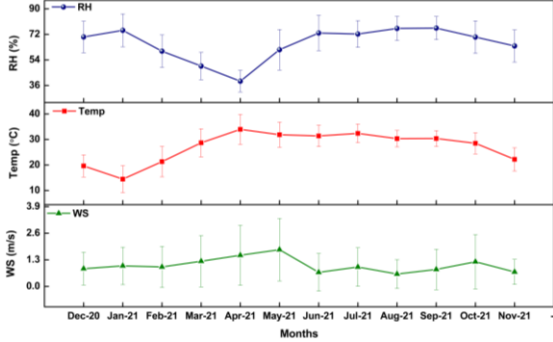
इस क्षेत्र में वायु प्रदूषण में मुख्य योगदान देने वालों में सड़क की धूल से पैदा होने वाले पार्टिकुलेट मैटर, घर में खाना पकाने, प्रकाश और तापन गतिविधि से निकलने वाले उत्सर्जन और खुले में कचरा जलाना शामिल हैं। गाड़ियों से होने वाला उत्सर्जन भी एक अहम भूमिका निभाता है, क्योंकि वाराणसी में पंजीकृत गाड़ियों की कुल संख्या 7,77,000 से ज्यादा है, जिससे जीवाश्म ईंधन का जलना वायुमंडलीय प्रदूषण का एक बड़ा स्रोत बन जाता है [14]।

मध्य आईजीपी में होने की वजह से, वाराणसी में चार अलग-अलग मौसम होते हैं: शीत (दिसंबर- जनवरी- फरवरी), ग्रीष्म (मार्च-अप्रैल-मई), वर्षा-ऋतु (जून-जुलाई-अगस्त-सितंबर), और वर्षा-ऋतु के बाद (अक्टूबर-नवंबर)। यह वर्गीकरण भारतीय मौसम विज्ञान विभाग और आईजीपी के पूर्व अध्ययनों के अनुरूप है [13, 17]। इन मौसमी बदलावों की वजह से उत्सर्जन स्रोत और मौजूदा मौसम की स्थितियों में अंतर के कारण एरोसोल की मात्रा में काफी अंतर आ जाता है [9]। उदाहरण के लिए, ग्रीष्म ऋतु में, एरोसोल की मात्रा में अक्सर आस-पास के सूखे और अर्ध-शुष्क क्षेत्र से लंबी दूरी तक लाए गए बड़े कण ज्यादा होते हैं [13]। इसके उलट, सर्दियों में आमतौर पर स्थिर वायुमंडलीय स्थितियाँ होती हैं जो घना कोहरा बनने में मदद करती हैं, जिससे वायुमंडलीय दृश्यता कम हो जाती है। वर्षा-ऋतु के समय, वाराणसी में सालाना बारिश का लगभग 71% हिस्सा होता है, जो आर्द्र मार्जन प्रक्रिया के ज़रिए एरोसोल की सांद्रता पर काफी असर डालता है। इसके अलावा, इस मौसम में इस क्षेत्र में समुद्री एरोसोल का असर भी हो सकता है [15,16]।

हवा का तापमान (Temp), सापेक्षिक आर्द्रता (RH), और हवा की गति (WS) जैसे मौसम के मापक, केंद्रीय प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड (सीपीसीबी) के चलाए जा रहे अनुश्रवण केंद्र से लिए गए थे। अध्ययन क्षेत्र (बीएचयू) और सीपीसीबी स्टेशन (अर्दली बाज़ार) के बीच की दूरी लगभग 5 किमी है, जो एक ही शहरी सूक्ष्म वातावरण में आता है। वाराणसी जैसे मध्यम आकार के शहरों में, तापमान, सापेक्ष आर्द्रता और हवा की गति जैसे बड़े (सिनोप्टिक-स्केल) मौसम संबंधी पैरामीटर इस दूरी पर महत्वपूर्ण रूप से भिन्न नहीं होते हैं। इसके अतिरिक्त, सीपीसीबी स्टेशन एक मानकीकृत और गुणवत्ता-नियंत्रित निगरानी नेटवर्क का हिस्सा है, जहाँ डेटा को नियमित रूप से कैलिब्रेट और सत्यापित किया जाता है। इसी कारण से, कई पिछले अध्ययनों ने भी इस क्षेत्र के लिए सीपीसीबी डेटा का उपयोग किया है [9, 13]।

चित्र 1 अध्ययन के समय के दौरान सापेक्षिक आर्द्रता (RH), तापमान, और हवा की गति (WS) जैसे मौसम के मुख्य मापक में हर महीने होने वाले बदलाव को दिखाता है। सालाना औसत तापमान लगभग 27.09 ± 6.14 °सेल्सियस था। जनवरी में सबसे कम औसत तापमान लगभग 15 °सेल्सियस रिकॉर्ड किया गया, जिससे यह साल का सबसे ठंडा महीना बन गया। इसके उलट,

ग्रीष्म ऋतु शुरू होने की वजह से अप्रैल (~34 °सेल्सियस) में सबसे ज्यादा तापमान देखा गया। कुल मिलाकर, जनवरी से अप्रैल तक तापमान में धीरे-धीरे बढ़ोतरी हुई, जिसके बाद अप्रैल से नवंबर तक इसमें कमी आई। सालाना औसत सापेक्षिक आर्द्रता (RH) लगभग $66 \pm 12\%$ थी, जो अप्रैल में कम से कम 39% से सितंबर में ज्यादा से ज्यादा 76% तक थी। पूरे साल हवा की गति में भी काफी बदलाव दिखा। सबसे ज्यादा हवा की गति (~1.8 मीटर/सेकंड) मई में दर्ज की गई, जबकि सबसे कम हवा की गति (~0.6 मीटर/सेकंड) नवंबर में हुई, जिससे सालाना औसत हवा की गति 1.03 ± 0.35 मीटर/सेकंड रही।



चित्र 1: अध्ययन अवधि के दौरान वाराणसी में (ए) सापेक्ष आर्द्रता (%), (बी) तापमान (°सेल्सियस), और (सी) हवा की गति (मीटर/सेकंड) का मासिक औसत परिवर्तन।

3. ब्लैक कार्बन मापन और स्रोत आवंटन

ब्लैक कार्बन (बीसी) द्रव्यमान सांद्रता को 2 लीटर प्रति मिनट की प्रवाह दर पर संचालित सात-तरंगदैर्घ्य एथैलोमीटर (ईई-33, मैगी साइंटिफिक) का उपयोग करके 1 मिनट के समय अंतराल के साथ लगातार मापा गया। यह उपकरण बीयर-लेम्बर्ट सिद्धांत के आधार पर काम करता है और इसमें दोहरी स्थान तकनीक शामिल है ताकि माप के दौरान फिल्टर लोडिंग के असर को अपने आप ठीक किया जा सके। यह उपकरण भौतिकी विभाग के सबसे ऊपरी मंजिल पर मौजूद एक कमरे में लगाया गया था। नमूना प्रवेशिका को भवन की छत से लगभग 3 मीटर ऊपर रखा गया था, जो खुद ज़मीन से लगभग 10 मीटर ऊपर है, जिससे उपकरण आस-पास की हवा का सैंपल ले सके।

ईई-33 एथैलोमीटर सात तरंग दैर्घ्य (370, 470, 520, 590, 660, 880, और 950 नैनोमीटर) पर फिल्टर टेप पर जमा कणों के माध्यम से प्रकाश के क्षीणन को मापता है, जो पराबैंगनी से लेकर निकट-अवरक्त वर्णक्रमीय क्षेत्र तक फैला होता है। बहु तरंगदैर्घ्य माप से एरोसोल अवशोषण की वर्णक्रमीय निर्भरता का पता चलता है और जीवाश्म ईंधन के जलने और जैव ईंधन जलने से निकलने वाले बीसी के स्रोत का बंटवारा करने में मदद मिलती है [18]। जैव ईंधन जलने से निकलने वाले एरोसोल आमतौर पर पराबैंगनी क्षेत्र में ज्यादा अवशोषण दिखाते हैं, जबकि जीवाश्म ईंधन के जलने से निकलने वाले बीसी निकट-अवरक्त क्षेत्र में, खासकर 880 नैनोमीटर पर, ज्यादा अवशोषण दिखाते हैं [19]। हालांकि प्रकाश क्षीणन को सभी सात तरंग दैर्घ्य पर मापा जाता है, बीसी द्रव्यमान सांद्रता आमतौर पर 880 नैनोमीटर पर अवशोषण से प्राप्त होती है, जहां अन्य एरोसोल घटकों से हस्तक्षेप न्यूनतम होता है। खनिज धूल और जैविक एरोसोल छोटी तरंग दैर्घ्य (स्पेक्ट्रम के नीले और हरे भाग) पर अधिक तीव्रता से अवशोषित होते हैं, लेकिन निकट-अवरक्त क्षेत्र में उनका अवशोषण काफी क्षीण हो जाता है। इस प्रकार, 880 नैनोमीटर पर अवशोषण मुख्य रूप से बीसी को समर्पित है, जो इसे इसकी सांद्रता मापने के लिए एक उपयुक्त तरंगदैर्घ्य बनाता है।

मापे गए अवशोषण गुणांक को द्रव्यमान सांद्रता में बदलने के लिए, एक उपयुक्त द्रव्यमान अवशोषण क्रॉस-सेक्शन (एमएसी) का उपयोग किया जाता है [20]। इस अध्ययन में उपयोग किए गए निर्माता-अनुशंसित एमएसी मान क्रमशः 370, 470, 520, 590, 660, 880, और 950 नैनोमीटर तरंग दैर्घ्य पर 18.47, 14.54, 13.14, 11.58, 10.35, 7.77, और 7.19 मीटर² प्रति ग्राम हैं [21,

22]। एरोसोल अवशोषण गुणांक (b_{abs}) और बीसी द्रव्यमान सांद्रता के बीच संबंध इस प्रकार है:

$$b_{abs}(\lambda) = BC(\lambda) \times MAC(\lambda)$$

बीसी के प्रमुख उत्सर्जन स्रोतों की पहचान करने के लिए, जीवाश्म ईंधन दहन (बीसी_{ff}) और जैव ईंधन दहन (बीसी_{bb}) से योगदान का अनुमान लगाने के लिए एथैलोमीटर मॉडल का उपयोग किया गया। इस मॉडल के अनुसार, एक निश्चित तरंगदैर्घ्य पर कुल एरोसोल अवशोषण इन दो स्रोतों के अवशोषण योगदान का योग होता है [23]:

$$b_{abs}(\lambda) = b_{abs}(\lambda, ff) + b_{abs}(\lambda, bb)$$

जहां $b_{abs}(\lambda, ff)$ और $b_{abs}(\lambda, bb)$ क्रमशः जीवाश्म ईंधन दहन और जैव ईंधन जलने से जुड़े अवशोषण गुणांक का प्रतिनिधित्व करते हैं।

एंस्ट्रॉम के शक्ति नियम के अनुसार, जीवाश्म ईंधन और जैव ईंधन जलाने वाले स्रोतों के लिए एरोसोल अवशोषण की वर्णक्रमीय निर्भरता को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:

$$\frac{b_{abs}(\lambda_1, ff)}{b_{abs}(\lambda_2, ff)} = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{-\alpha_{ff}}$$

$$\frac{b_{abs}(\lambda_1, bb)}{b_{abs}(\lambda_2, bb)} = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{-\alpha_{bb}}$$

जहां α_{ff} और α_{bb} अवशोषण एंस्ट्रॉम घातांक हैं जो क्रमशः जीवाश्म ईंधन और जैव ईंधन जलने वाले स्रोतों का प्रतिनिधित्व करते हैं।

इन संबंधों का उपयोग करके, कुल बीसी सांद्रता में जीवाश्म ईंधन दहन (बीसी_{ff}) और जैव ईंधन दहन (बीसी_{bb}) के सापेक्ष योगदान का अनुमान लगाया गया।

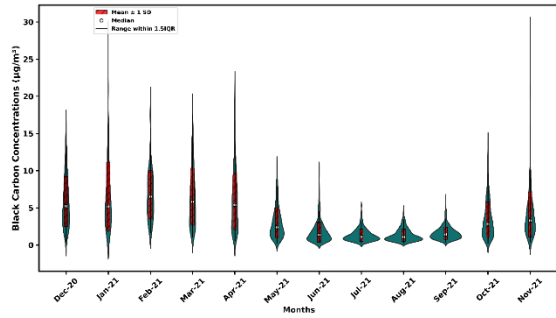
$$BC = BC_{ff} + BC_{bb}$$

इस अध्ययन में, विभाजन के लिए प्रयुक्त α_{ff} और α_{bb} मान क्रमशः 1 और 2 हैं। जैव ईंधन दहन अनुपात की गणना के लिए उपयोग किया जाने वाला 'एथैलोमीटर मॉडल' α_{bb} मान के प्रति संवेदनशील है और इसलिए इसका मान विशिष्ट स्थान और स्रोत पर निर्भर करता है। वर्तमान परिदृश्य में, एरोसोल स्रोत क्षेत्र एक बड़े भौगोलिक क्षेत्र में फैला हुआ है, और अनुश्रवण केंद्र तक पहुंचने से पहले एरोसोल बहुत अधिक मिश्रण और एजिंग से गुजरते हैं, इसलिए, α_{bb} का औसत मान 2 निर्धारित किया गया है। आईजीपी क्षेत्र पर पूर्व अध्ययनों में एंस्ट्रॉम घातांक के समान मानों का उपयोग किया गया है [24, 25]।

4. परिणाम और विवेचना

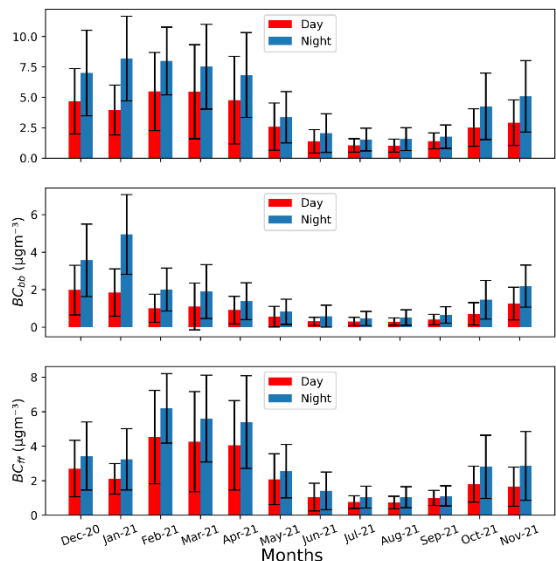
चित्र 2 में दिसंबर 2020 से नवंबर 2021 तक वाराणसी में ब्लैक कार्बन (बीसी) की सांद्रता में मासिक परिवर्तन का वायलिन प्लॉट दिखाया गया है। बीच का लाल भाग मासिक औसत के चारों ओर की पूरी सीमा को उजागर करता है, जिससे पता चलता है कि अधिकांश डेटा बिंदु माध्य के एक मानक विचलन के भीतर कहीं एकत्रित होते हैं। सफेद वृत्त माध्यिका को दर्शाता है, जो महीने की केंद्रीय प्रवृत्ति को प्रदर्शित करता है। ऊपर और नीचे फैली पतली काली रेखाएं डेटा का संपूर्ण फैलाव दर्शाती हैं, जो निचली से ऊपरी सीमा तक की रेंज को कवर करती हैं, जिससे यह स्पष्ट करने में मदद मिलती है कि पूरे महीने सांद्रता में कितना उतार-चढ़ाव होता है। वायलिन प्लॉट प्रत्येक माह के लिए 1.5 IQR के भीतर वितरण, माध्यिका, माध्य ± 1 मानक विचलन, और परिवर्तनशीलता को दर्शाता है, जो बीसी सांद्रता में स्पष्ट मौसमी भिन्नता को उजागर करता है। शीत ऋतु के दौरान सबसे अधिक बीसी स्तर देखे गए, जनवरी में चरम पर (~11 माइक्रोग्राम/मीटर³)

और उसके बाद फरवरी और मार्च में (~10 माइक्रोग्राम/मीटर³)। ये उच्च सांद्रता मुख्य रूप से बढ़े हुए वाहन उत्सर्जन, जीवाश्म ईंधन दहन, जैव ईंधन जलाने और प्रतिकूल मौसम संबंधी स्थितियों जैसे उथली सीमा परत की ऊंचाई और मंद हवाओं के कारण होती है जो प्रदूषक फैलाव को सीमित करती हैं। मार्च-अप्रैल के दौरान, ब्लैक कार्बन (बीसी) की सांद्रता अपेक्षाकृत अधिक रहती है, लेकिन तेज हवाओं और बेहतर वायुमंडलीय मिश्रण के कारण थोड़ी कम होने लगती है। वर्षा-ऋतु के मौसम (जून-सितंबर) के दौरान बीसी में उल्लेखनीय कमी देखी जाती है, जुलाई और अगस्त में सबसे कम मान (~1-1.5 माइक्रोग्राम/मीटर³) होते हैं, मुख्य रूप से वर्षा और आर्द्र निष्कासन प्रक्रियाओं के कारण। वर्षा-ऋतु के बाद के मौसम में, कृषि अवशेषों के जलने और स्थिर मौसम के कारण अक्टूबर-नवंबर में बीसी का स्तर फिर से बढ़ जाता है (~6-7 माइक्रोग्राम/मीटर³)। बीसी के स्तर में सर्दियों में सबसे अधिक और मानसून में सबसे कम स्तर के ऐसे ही मौसमी पैटर्न आईजीपी क्षेत्र में पिछले अध्ययनों में भी दर्ज किए गए हैं [8, 26]।



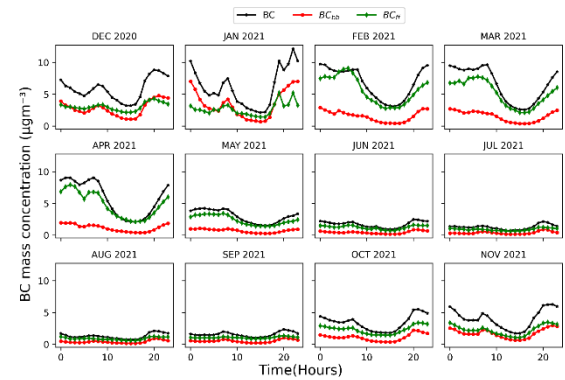
चित्र 2: बीसी सांद्रता (माइक्रोग्राम/मीटर³) के मासिक औसत परिवर्तन का वायलिन आरेख।

चित्र 3 वाराणसी में बीसी, बीसी_{bb} (जैव ईंधन दहन), और बीसी_{ff} (जीवाश्म ईंधन दहन) के मासिक दिन और रात के बदलावों को दर्शाता है। यह स्पष्ट रूप से देखा जाता है कि पूरे वर्ष रात में बीसी की सांद्रता दिन की तुलना में अधिक होती है। उदाहरण के लिए, सर्दियों के दौरान, रात में बीसी का स्तर लगभग 7-8 माइक्रोग्राम/मीटर³ तक पहुंच जाता है, जबकि दिन में लगभग 4-5 माइक्रोग्राम/मीटर³ के आसपास रहता है। यह अंतर मुख्य रूप से सीमा परत गतिकी के कारण है। रात में, सीमा परत उथली और स्थिर हो जाती है, जो प्रदूषक फैलाव को प्रतिबंधित करती है और सतह के पास बीसी के संचय की ओर ले जाती है। इसके विपरीत, दिन के दौरान, सौर तापन वायुमंडलीय मिश्रण को बढ़ाता है, जो प्रदूषकों को फैलाने में मदद करता है। दिल्ली, कानपुर और लखनऊ जैसे शहरों में भी रात में बीसी की ज्यादा सांद्रता के ऐसे ही पैटर्न देखे गए हैं [8, 27]।



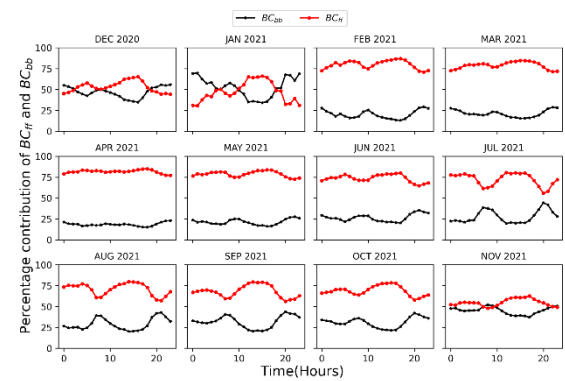
चित्र 3: दिन और रात के योगदान के साथ बीसी, बीसी_{ff}, और बीसी_{bb} में मासिक परिवर्तन।

चित्र 4 वाराणसी में प्रत्येक माह बीसी, बीसी_{bb}, और बीसी_{ff} का दैनिक परिवर्तन दर्शाती है। अधिकांश महीनों के दौरान एक स्पष्ट ट्रिमोडल पैटर्न देखा जाता है, जिसमें सुबह (07:00-09:00) और शाम (19:00-22:00) में दो प्रमुख शिखर होते हैं। ये शिखर मुख्य रूप से व्यस्त समय के वाहनों के उत्सर्जन, घरेलू ईंधन जलाने और एक उथली सीमा परत से जुड़े होते हैं जो प्रदूषक फैलाव को सीमित करती है। सबसे कम ब्लैक कार्बन सांद्रता दोपहर (12:00-15:00) के दौरान होती है, जब सीमा परत की ऊंचाई बढ़ती है, जिससे प्रदूषकों का बेहतर फैलाव होता है। अधिकांश महीनों में, बीसी_{ff} कुल बीसी पर हावी रहता है, यह दर्शाता है कि जीवाश्म ईंधन का दहन प्रमुख स्रोत है, जबकि बीसी_{bb} सुबह जल्दी और रात के घंटों के दौरान अधिक योगदान देता है। इसी तरह के द्वि-मोडल दैनिक पैटर्न आईजीपी क्षेत्र में भी बताए गए हैं [26]।



चित्र 4: बीसी, बीसी_{ff}, और बीसी_{bb} की द्रव्यमान सांद्रता में महीनेवार दैनिक भिन्नता।

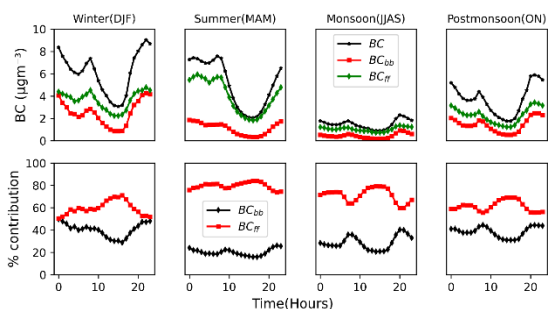
चित्र 5 वाराणसी में कुल ब्लैक कार्बन में जैव ईंधन दहन (बीसी_{bb}) और जीवाश्म ईंधन दहन (बीसी_{ff}) के प्रति घंटा प्रतिशत योगदान को दर्शाती है। परिणाम संकेत देते हैं कि जीवाश्म ईंधन दहन प्रमुख स्रोत है, जो कुल बीसी का लगभग 60-85% योगदान देता है, जबकि जैव ईंधन दहन लगभग 15-40% योगदान देता है। सर्दियों (दिसंबर-जनवरी) के दौरान, बीसी_{bb} का योगदान बढ़ जाता है, विशेषकर रात में, लगभग 50% तक पहुंच जाता है, संभवतः घरेलू ईंधन के उपयोग और क्षेत्रीय जैव ईंधन जलाने के कारण। इसके विपरीत, ग्रीष्म और वर्षा-ऋतु में, जीवाश्म ईंधन का दहन प्रमुख स्रोत बना रहता है, जो बीसी उत्सर्जन का 70-85% होता है। इसी तरह के परिणाम आईजीपी क्षेत्र के अन्य शहरों, जैसे कानपुर, दिल्ली और पटना के लिए भी बताए गए हैं [8, 10, 11]।



चित्र 5: बीसी_{ff}, और बीसी_{bb} की द्रव्यमान सांद्रता में महीनेवार प्रतिशत योगदान।

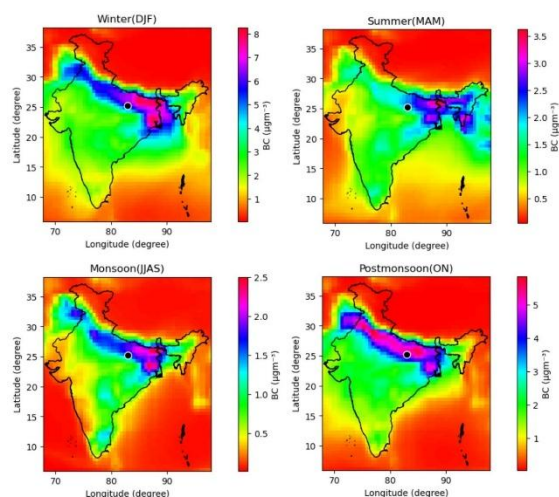
चित्र 6 वाराणसी में बीसी, बीसी_{bb}, और बीसी_{ff} के मौसमी दैनिक परिवर्तन को दर्शाती है। सर्दियों में बीसी की उच्चतम सांद्रता (~8-9 माइक्रोग्राम/मीटर³) दर्ज

की जाती है, विशेष रूप से शाम के घंटों के दौरान, जिसमें घरेलू ईंधन के उपयोग के कारण जैव ईंधन जलने का उल्लेखनीय योगदान होता है। गर्मियों में, तेज हवाओं और वायुमंडलीय मिश्रण बढ़ने के कारण बीसी का स्तर थोड़ा घट जाता है, जबकि जीवाश्म ईंधन का दहन प्रमुख स्रोत बना रहता है। वर्षा-ऋतु के मौसम में बारिश और आर्द्र निष्कासन प्रक्रियाओं के कारण बीसी की सांद्रता सबसे कम (~1-2 माइक्रोग्राम/मीटर³) दिखती है, हालांकि जीवाश्म ईंधन का उत्सर्जन अभी भी प्रमुख है। वर्षा-ऋतु के बाद के मौसम में, उत्तरी भारत में पराली जलाने के कारण बीसी की सांद्रता फिर से बढ़ जाती है, जिससे जैव ईंधन दहन का योगदान बढ़ जाता है। ये मौसमी पैटर्न आईजीपी पर हुए पिछले अध्ययनों के अनुरूप हैं [7, 28]।



चित्र 6: बीसी, बीसी_{ff}, और बीसी_{bb} की द्रव्यमान सांद्रता में मौसमी दैनिक भिन्नता और प्रतिशत योगदान।

चित्र 7 भारत में बीसी का मौसमी स्थानिक वितरण दर्शाती है, जो शीत, ग्रीष्म, वर्षा-ऋतु, और वर्षा-ऋतु के बाद के लिए MERRA-2 रीएनालिसिस डेटासेट से प्राप्त किया गया है। काला बिंदु मध्य आईजीपी में वाराणसी के स्थान को दर्शाता है। परिणाम दर्शाते हैं कि सर्दियों के दौरान आईजीपी में बीसी की उच्चतम सांद्रता होती है, जिसका मान लगभग 6-8 माइक्रोग्राम/मीटर³ तक पहुंच जाता है, मुख्य रूप से उच्च उत्सर्जन और स्थिर वायुमंडलीय स्थितियों के कारण। गर्मियों के मौसम के दौरान, तेज हवाओं और बेहतर वायुमंडलीय मिश्रण के कारण बीसी का स्तर थोड़ा कम हो जाता है। सबसे कम सांद्रता वर्षा-ऋतु के दौरान वर्षा और आर्द्र निष्कासन प्रक्रियाओं के कारण होती है। वर्षा-ऋतु के बाद, मुख्य रूप से फसल अवशेष जलाने और मानवजनित उत्सर्जन में वृद्धि के कारण बीसी का स्तर फिर से बढ़ जाता है।



चित्र 7: भारत में ब्लैक कार्बन का मौसमी स्थानिक वितरण।

5. निष्कर्ष

इस अध्ययन ने दिसंबर 2020 से नवंबर 2021 तक बहु तरंगदैर्घ्य एथैलोमीटर (एई-33) के साथ निरंतर माप का उपयोग करके, मध्य आईजीपी क्षेत्र में स्थित वाराणसी में ब्लैक कार्बन (बीसी) की लौकिक विशेषताओं और स्रोत योगदान की जांच की। परिणामों ने स्थानीय उत्सर्जन स्रोतों और मौसम संबंधी स्थितियों से प्रभावित होकर, बीसी सांद्रता में एक मजबूत मौसमी और दैनिक परिवर्तनशीलता का प्रदर्शन किया। सर्दियों के मौसम में बीसी की सांद्रता सबसे अधिक थी, जो मुख्य रूप से जीवाश्म ईंधन दहन, जैव ईंधन जलाने, और कम सीमा परत ऊँचाई व कमजोर हवाओं जैसी स्थिर वायुमंडलीय स्थितियों के कारण था। फसल अवशेषों को जलाने और स्थिर मौसम संबंधी स्थितियों की शुरुआत के कारण मानसून के बाद के मौसम में बीसी का स्तर फिर से बढ़ गया।

बीसी की दैनिक भिन्नता ने एक द्विमोडल पैटर्न प्रदर्शित किया, जिसमें सुबह और शाम के घंटों के दौरान शिखर थे, जो यातायात उत्सर्जन और घरेलू ईंधन जलाने की गतिविधियों के अनुरूप थे। एक स्थिर रात की सीमा परत के निर्माण के कारण रात की सांद्रता दिन के स्तर से लगातार अधिक थी, जो प्रदूषक फैलाव को सीमित करती है।

स्रोत विभाजन विश्लेषण ने संकेत दिया कि जीवाश्म ईंधन का दहन प्रमुख योगदानकर्ता है, जो कुल बीसी का 60-85% है, जबकि जैव ईंधन जलाने से लगभग 15-40% योगदान होता है, जिसका प्रभाव सर्दियों और मानसून के बाद के मौसम में बढ़ जाता है। ये परिणाम बताते हैं कि वाराणसी में बीसी प्रदूषण के प्रमुख स्रोत वाहनों का उत्सर्जन और शहरी जीवाश्म ईंधन का दहन हैं, जबकि जैव ईंधन जलाना एक द्वितीयक लेकिन मौसमी रूप से महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। समग्र रूप से, निष्कर्ष आईजीपी क्षेत्र में बीसी स्तरों पर मानवजनित उत्सर्जन के महत्वपूर्ण प्रभाव को उजागर करते हैं और क्षेत्रीय वायु गुणवत्ता में सुधार करने और जलवायु प्रभावों को कम करने के लिए वाहन स्रोतों और जैव ईंधन जलाने को लक्षित करने वाली प्रभावी उत्सर्जन नियंत्रण रणनीतियों की आवश्यकता पर बल देते हैं।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., ... & Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of geophysical research: Atmospheres*, 118(11), 5380-5552.
2. Ramanathan, V., & Carmichael, G. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature geoscience*, 1(4), 221-227.
3. IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
4. Janssen, N. A., Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer, P., Van Bree, L., Ten Brink, H., ... & Cassee, F. R. (2011). Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5. *Environmental health perspectives*, 119(12), 1691.
5. Lack, D. A., & Cappa, C. D. (2010). Impact of brown and clear carbon on light absorption enhancement, single scatter albedo and absorption wavelength dependence of black carbon. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(9), 4207-4220.
6. Andreae, M. O., & Gelencsér, A. (2006). Black carbon or brown carbon? The nature of light-absorbing carbonaceous aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6(10), 3131-3148.
7. Gustafsson, O., Krusa, M., Zencak, Z., Sheesley, R. J., Granat, L., Engstrom, E., ... & Rodhe, H. (2009). Brown clouds over South Asia: biomass or fossil fuel combustion?. *Science*, 323(5913), 495-498.
8. Tiwari, S., Pipal, A. S., Srivastava, A. K., Bisht, D. S., & Pandithurai, G. (2015). Determination of wood burning and fossil fuel contribution of black carbon at Delhi, India using aerosol light absorption technique. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4), 2846-2855.
9. Srivastava, S., Kumar, M., Singh, R. S., Rai, B. N., Mall, R. K., & Banerjee, T. (2019). Long-term observation of black carbon aerosols at an urban location over the central Indo-Gangetic Plain, South Asia. *Atmosfera*, 32(2), 95-113.
10. Sandradewi, J., Prévôt, A. S., Szidat, S., Perron, N., Alfarra, M. R., Lanz, V. A., ... & Baltensperger, U. R. S. (2008). Using aerosol light absorption measurements for the quantitative determination of wood burning and traffic emission contributions to particulate matter. *Environmental science & technology*, 42(9), 3316-3323.
11. Zotter, P., Herich, H., Gysel, M., El-Haddad, I., Zhang, Y., Močnik, G., ... & Prévôt, A. S. (2017). Evaluation of the absorption Ångström exponents for traffic and wood burning in the Aethalometer-based source apportionment using radiocarbon measurements of ambient aerosol. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(6), 4229-4249.
12. Kirchstetter, T. W., Novakov, T., & Hobbs, P. V. (2004). Evidence that the spectral dependence of light absorption by aerosols is affected by organic carbon. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D21).
13. Tiwari, S., Kaskaoutis, D., Soni, V. K., Dev Attri, S., & Singh, A. K. (2018). Aerosol columnar characteristics and their heterogeneous nature over Varanasi, in the central Ganges valley. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(25), 24726-24745.
14. Dasgupta, P., & Srikanth, K. (2020). Reduced air pollution during COVID-19: Learnings for sustainability from Indian Cities. *Global Transitions*, 2, 271-282.
15. Murari, V., Kumar, M., Mhawish, A., Barman, S. C., & Banerjee, T. (2017). Airborne particulate in Varanasi over middle Indo-Gangetic Plain: variation in particulate types and meteorological influences. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(4), 157.
16. Tiwari, S., & Singh, A. K. (2013). Variability of aerosol parameters derived from ground and satellite measurements over Varanasi located in the Indo-Gangetic Basin. *Aerosol and Air Quality Research*, 13(2), 627-638.
17. Chauhan, P. K., Tiwari, S., Gupta, D. K., Kumar, A., Pratap, V., & Singh, A. K. (2024). Assessment of equivalent black carbon variations and its source apportionment over Varanasi, Indo-Gangetic Basin. *Atmospheric Pollution Research*, 15(4), 102061.
18. Zioła, N., Błaszczak, B., & Klejnowski, K. (2021). Temporal variability of equivalent black carbon components in atmospheric air in Southern Poland. *Atmosphere*, 12(1), 119.

19. Goel, V., Hazarika, N., Kumar, M., Singh, V., Thamban, N. M., & Tripathi, S. N. (2021). Variations in Black Carbon concentration and sources during COVID-19 lockdown in Delhi. *Chemosphere*, 270, 129435.
20. Petzold, A., Ogren, J. A., Fiebig, M., Laj, P., Li, S. M., Baltensperger, U., ... & Zhang, X. Y. (2013). Recommendations for reporting "black carbon" measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(16), 8365-8379.
21. Weingartner, E., Saathoff, H., Schnaiter, M., Streit, N., Bitnar, B., & Baltensperger, U. (2003). Absorption of light by soot particles: determination of the absorption coefficient by means of aethalometers. *Journal of Aerosol Science*, 34(10), 1445-1463.
22. Rathod, T. D., & Sahu, S. K. (2022). Measurements of optical properties of black and brown carbon using multi-wavelength absorption technique at Mumbai, India. *Journal of Earth System Science*, 131(1), 32.
23. Herich, H., Hueglin, C., & Buchmann, B. (2011). A 2.5 year's source apportionment study of black carbon from wood burning and fossil fuel combustion at urban and rural sites in Switzerland. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(7), 1409-1420.
24. Kumar, R. R., Soni, V. K., & Jain, M. K. (2020). Evaluation of spatial and temporal heterogeneity of black carbon aerosol mass concentration over India using three year measurements from IMD BC observation network. *Science of the Total Environment*, 723, 138060.
25. Vaishya, A., Singh, P., Rastogi, S., & Babu, S. S. (2017). Aerosol black carbon quantification in the central Indo-Gangetic Plain: Seasonal heterogeneity and source apportionment. *Atmospheric Research*, 185, 13-21.
26. Srivastava, A. K., Singh, S., Pant, P., & Dumka, U. C. (2012). Characteristics of black carbon over Delhi and Manora Peak—a comparative study. *Atmospheric Science Letters*, 13(3), 223-230.
27. Tripathi, S. N., Dey, S., Tare, V., & Satheesh, S. K. (2005). Aerosol black carbon radiative forcing at an industrial city in northern India. *Geophysical research letters*, 32(8).
28. Tiwari, S., Srivastava, A. K., Bisht, D. S., Bano, T., Singh, S., Behura, S., ... & Padmanabhamurty, B. (2009). Black carbon and chemical characteristics of PM10 and PM2.5 at an urban site of North India. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 62(3), 193-209.



क्वांटम कंप्यूटिंग और क्रिप्टोग्राफी: एक क्वांटम-मैकेनिकल दृष्टिकोण

रजनी सिंह*

गणित एवं वैज्ञानिक संगणक विभाग, मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010

लेखक से संवाद के लिए ईमेल* - 2024113011@mmmut.ac.in

आलेख प्राप्त: ०८ फरवरी २०२६; अंतिम संशोधित: १८ मार्च २०२६; स्वीकृत: २५ मार्च २०२६

प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २६ अप्रैल २०२६

सारांश

सुपरपोजीशन, एंटीगलमेंट तथा मापन जैसे क्वांटम यांत्रिकी के सिद्धांतों पर आधारित क्वांटम कंप्यूटिंग गणना की एक पूर्णतः नई और क्रांतिकारी पद्धति है। क्वांटम कंप्यूटर सूचना के प्रसंस्करण के लिए द्विआधारी बिट्स के स्थान पर क्वांटम बिट्स अथवा क्यूबिट्स का उपयोग करते हैं, जिनके माध्यम से कुछ गणनाएँ पारंपरिक कंप्यूटरों की तुलना में कई गुना अधिक तेजी से सम्पन्न की जा सकती हैं। यह लेख सर्वप्रथम क्वांटम की अवधारणा का परिचय देता है तथा यह स्पष्ट करता है कि क्वांटम गणना किस प्रकार की जाती है। इसके पश्चात क्वांटम कंप्यूटिंग के विकास का एक संक्षिप्त कालानुक्रमिक इतिहास प्रस्तुत किया गया है, साथ ही इसके वर्तमान अनुप्रयोगों और भविष्य की संभावित प्रगतियों पर भी चर्चा की गई है। विशेष रूप से क्वांटम भौतिकी और क्रिप्टोग्राफी के बीच संबंध पर ध्यान केंद्रित किया गया है, जिसमें पारंपरिक क्रिप्टोप्रणालियों के लिए क्वांटम एल्गोरिथ्म द्वारा उत्पन्न खतरे तथा क्वांटम क्रिप्टोग्राफी द्वारा प्रदान की जाने वाली संभावनाओं को सम्मिलित किया गया है। संपूर्ण लेख में मानक संदर्भों का उल्लेख किया गया है तथा वैचारिक समझ को सुदृढ़ करने हेतु उपयुक्त शीर्षकों सहित चित्रों को सम्मिलित किया गया है।

सूचक शब्द: सुपरपोजीशन, एंटीगलमेंट, मापन, क्रिप्टोग्राफी



Quantum Computing and Cryptography: A Quantum-Mechanical Approach

Rajni Singh*

Department of Mathematics and Scientific Computing, Madan Mohan Malaviya University of Technology,
Gorakhpur, Uttar Pradesh, India -273010

Corresponding Author Email*: 2024113011@mmmut.ac.in

Received On: 08 February 2026; Final Revision: 18 March 2026; Accepted On: 25 March 2026

Published Online First: 26 April 2026

ABSTRACT

Quantum computing is a revolutionary paradigm of computation based on the fundamental principles of quantum mechanics such as superposition, entanglement, and measurement. Unlike classical computers that process information using binary bits, quantum computers utilize quantum bits or qubits, which enable certain computations to be performed significantly faster than traditional computational methods. This paper first introduces the concept of quantum mechanics and explains how quantum computation is performed. It then presents a brief chronological overview of the development of quantum computing, along with a discussion of its current applications and potential future advancements. Particular emphasis is placed on the relationship between quantum physics and cryptography. The paper highlights the potential threats posed by quantum algorithms to classical cryptographic systems, as well as the promising opportunities offered by quantum cryptography for secure communication. Standard references are included throughout the article, and illustrative figures with appropriate headings are incorporated to enhance conceptual understanding.

Keywords: superposition; entanglement; measurement; cryptography

1. क्वांटम क्या है?

क्वांटम शब्द की उत्पत्ति क्वांटम यांत्रिकी से हुई है और यह किसी भौतिक राशि की सबसे छोटी विसंयुक्त (Discrete) इकाई को दर्शाता है [1]। क्वांटम भौतिकी में ऊर्जा, कोणीय संवेग (Angular Momentum) तथा स्पिन जैसे भौतिक प्रेक्षणीय निरंतर रूप से परिवर्तित नहीं होते, बल्कि वे केवल कुछ निश्चित मान ही ग्रहण करते हैं, जिन्हें क्वांटा (Quanta) कहा जाता है। उदाहरणस्वरूप, किसी परमाणु के भीतर इलेक्ट्रॉन के ऊर्जा स्तर क्वांटीकृत होते हैं।

इस क्वांटीकरण के परिणामस्वरूप अनेक ऐसे गैर-पारंपरिक (Non-classical) घटनाक्रम उत्पन्न होते हैं, जिनमें प्रमुख रूप से निम्नलिखित शामिल हैं:

- सुपरपोजीशन (Superposition): एक क्वांटम तंत्र एक ही समय में एक से अधिक अवस्थाओं में अस्तित्व में रह सकता है।
- एंटेगलमेंट (Entanglement): दो या अधिक क्वांटम तंत्रों के बीच ऐसा गहरा संबंध हो सकता है जिसे पारंपरिक भौतिकी द्वारा समझाया नहीं जा सकता।

- मापनपतन (Measurement Collapse): जब किसी क्वांटम तंत्र का मापन किया जाता है, तो वह अनेक संभावित अवस्थाओं में से किसी एक निश्चित अवस्था में परिवर्तित हो जाता है।

ये सभी अवधारणाएँ क्वांटम कम्प्यूटिंग की भौतिक आधारशिला का निर्माण करती हैं [2]।

2. क्वांटम कम्प्यूटिंग कैसे की जाती है?

क्वांटम कम्प्यूटिंग में क्यूबिट्स (Qubits) को सूचना की मूल इकाई के रूप में उपयोग किया जाता है। एक क्यूबिट एक ही समय में दोनों अवस्थाओं के सुपरपोजीशन में अस्तित्व में रह सकता है, जबकि पारंपरिक बिट केवल 0 या 1 में से किसी एक अवस्था में ही हो सकता है। इसे गणितीय रूप से इस प्रकार व्यक्त किया जाता है:

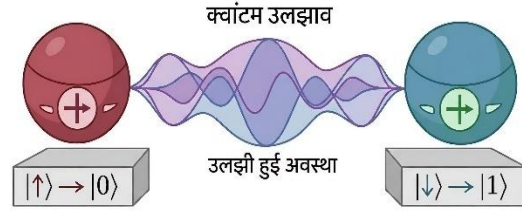
$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

जहाँ α और β जटिल (Complex) प्रायिकता आयाम (Probability Amplitudes) होते हैं।

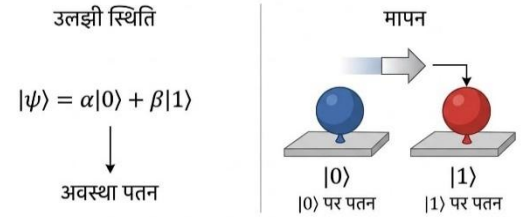
2.1. क्वांटम गणना के आवश्यक तत्त्व

- क्यूबिट का भौतिक क्रियान्वयन: क्यूबिट्स को साकार करने के लिए इलेक्ट्रॉन का स्पिन, फोटॉन का ध्रुवण (Polarization) अथवा सुपरकंडक्टिंग परिपथ जैसे भौतिक तंत्रों का उपयोग किया जाता है।
- क्वांटम गेट्स: क्वांटम गेट्स यूनिटरी संक्रियाएँ होती हैं जो क्यूबिट्स की अवस्था को परिवर्तित करती हैं, जैसे हैडमार्ड (Hadamard), पाउली (Pauli) तथा CNOT गेट।
- क्वांटम परिपथ (Quantum Circuits): गणनात्मक उद्देश्यों के लिए क्यूबिट्स पर लागू किए गए क्वांटम गेट्स के क्रम को क्वांटम परिपथ कहा जाता है।
- मापन (Measurement): मापन की प्रक्रिया में क्यूबिट्स की क्वांटम अवस्था पतित होकर शास्त्रीय सूचना (0 या 1) में परिवर्तित हो जाती है।

क्वांटम एल्गोरिथ्म को निष्पादित करने की प्रक्रिया में पहले एक प्रारंभिक क्वांटम अवस्था तैयार की जाती है, उसके पश्चात क्यूबिट्स पर क्वांटम गेट्स की एक श्रृंखला लागू की जाती है, और अंत में अंतिम अवस्था का मापन कर परिणाम प्राप्त किया जाता है।



आकृति 1: स्थानिक रूप से पृथक क्यूबिट्स के बीच क्वांटम उलझाव :- इस आकृति में दो दूर-दूर स्थित क्यूबिट्स के बीच क्वांटम उलझाव दर्शाया गया है। उलझी हुई अवस्था में एक क्यूबिट का मापन दूसरे क्यूबिट की अवस्था को तुरंत निर्धारित कर देता है, चाहे उनके बीच कितनी भी दूरी क्यों न हो।



आकृति 2: क्वांटम सुपरपोजीशन एवं मापन के दौरान अवस्था का पतन :- यह आकृति दर्शाती है कि एक क्यूबिट मापन से पहले सुपरपोजीशन अवस्था $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ में रहता है। मापन करने पर क्वांटम अवस्था का पतन (State Collapse) होता है और क्यूबिट निश्चित रूप से $|0\rangle$ या $|1\rangle$ में परिवर्तित हो जाता है।

3. संक्षिप्त इतिहास और कालानुक्रमिक विकास

क्वांटम कम्प्यूटिंग के इतिहास में कई महत्वपूर्ण मोड़ (Turning Points) पहचाने जा सकते हैं:

- 1900 से 1930 के बीच : प्लैंक, आइंस्टीन, बोहर, हाइजेनबर्ग तथा श्रोडिंगर जैसे वैज्ञानिकों ने क्वांटम यांत्रिकी की आधारशिला रखी।
- 1981: रिचर्ड फाइनमैन ने क्वांटम तंत्रों की सहायता से भौतिक प्रक्रियाओं के अनुकरण (Simulation) का विचार प्रस्तुत किया।
- 1985: डेविड डॉयच ने सार्वभौमिक क्वांटम कम्प्यूटर (Universal Quantum computer) की अवधारणा को औपचारिक रूप दिया।
- 1994: पीटर शोर ने पूर्णांकों के गुणनखंडन के लिए शोर का एल्गोरिथ्म प्रस्तुत किया, जिसने पारंपरिक एल्गोरिथ्मों की तुलना में घातीय (Exponential) गति-वृद्धि को प्रदर्शित किया। [3]

- 1996: लोव ग्रोवर ने ग्रोवर का खोज एल्गोरिथ्म प्रस्तावित किया, जो असंरचित खोज समस्याओं के लिए द्विघात (Quadratic) गति-वृद्धि प्रदान करता है। [4]
- 2000 के दशक से वर्तमानतक: सुपरकंडक्टिंग क्यूबिट्स, ट्रेड आयन तथा फोटोनिक प्रणालियों पर आधारित लघु-स्तरीय क्वांटम प्रोसेसरों का प्रयोगात्मक रूप से साकार किया गया है।

4. क्वांटम कंप्यूटिंग और क्वांटम यांत्रिकी

क्वांटम यांत्रिकी का एक प्रत्यक्ष अनुप्रयोग क्वांटम कम्प्यूटिंग है। क्वांटम यांत्रिकी की गणितीय आधारशिला—जैसे हिल्बर्ट स्पेस, रैखिक संचालक (Linear Operators) तथा प्रायिकता आयाम (Probability Amplitudes)—क्वांटम गणना की नींव का निर्माण करती है। इंटरफेरेंस (हस्तक्षेप) और एंटीग्लॉमेंट (उलझाव) जैसी घटनाओं का जानबूझकर उपयोग किया जाता है ताकि सही गणनात्मक पथों को सुदृढ़ किया जा सके तथा त्रुटिपूर्ण पथों को न्यूनतम किया जा सके। इसके परिणामस्वरूप ऐसी गणनात्मक क्षमताएँ प्राप्त होती हैं जो पारंपरिक कम्प्यूटिंग में संभव नहीं हैं। [5]

5. क्वांटम कंप्यूटिंग और क्रिप्टोग्राफी

5.1. पारंपरिक क्रिप्टोग्राफी के लिए खतरा

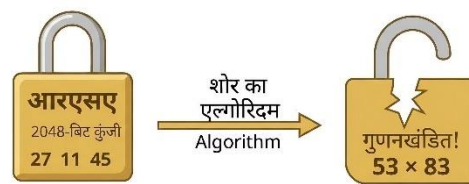
कई पारंपरिक क्रिप्टोग्राफिक विधियों की सुरक्षा गणितीय समस्याओं की गणनात्मक कठिनाई पर आधारित होती है। उदाहरणस्वरूप:

- RSA और ECC (Elliptic Curve Cryptography) डिस्क्रीट लॉगरिथ्म तथा पूर्णांक गुणनखंडन जैसी जटिल समस्याओं पर निर्भर करती हैं।
- वर्तमान पब्लिक-की क्रिप्टोसिस्टम के लिए शोर का एल्गोरिथ्म एक गंभीर खतरा प्रस्तुत करता है, क्योंकि पर्याप्त रूप से शक्तिशाली क्वांटम कम्प्यूटर पर यह इन समस्याओं को प्रभावी ढंग से हल कर सकता है।

5.2. क्वांटम क्रिप्टोग्राफी

इसके अतिरिक्त, क्वांटम भौतिकी सुरक्षित संचार के लिए नई संभावनाएँ भी प्रदान करती है:

- क्वांटम कुंजी वितरण (Quantum Key Distribution – QKD) प्रणालियाँ, जैसे BB84, मापन से उत्पन्न विक्षोभ तथा नो-क्लॉनिंग प्रमेय (No-Cloning Theorem) का उपयोग करके बिना शर्त सुरक्षा (Unconditional Security) सुनिश्चित करती हैं।
- किसी भी प्रकार की जासूसी (Eavesdropping) का प्रयास मापन में त्रुटियाँ उत्पन्न करता है, जिन्हें आसानी से पहचाना जा सकता है, जिससे सुरक्षित कुंजी विनिमय सुनिश्चित होता है।

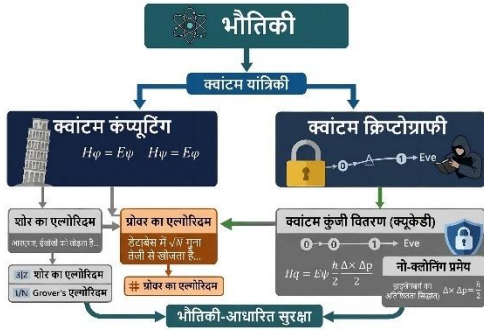


आकृति 3: RSA क्रिप्टोग्राफी पर शोर के एल्गोरिथ्म का प्रभाव :- यह आकृति दिखाती है कि कैसे शोर का क्वांटम एल्गोरिथ्म RSA जैसी पारंपरिक सार्वजनिक-कुंजी क्रिप्टोग्राफी को तोड़ सकता है। क्वांटम कंप्यूटर बड़ी संख्याओं का गुणनखंड कुशलता से निकाल सकता है, जिससे RSA की सुरक्षा कमजोर हो जाती है।

क्वांटम कंप्यूटिंग के तीव्र विकास के कारण पारंपरिक सार्वजनिक-कुंजी क्रिप्टोग्राफी प्रणालियाँ जैसे RSA और ECC भविष्य में असुरक्षित हो सकती हैं, क्योंकि शक्तिशाली क्वांटम कंप्यूटर Shor's Algorithm के माध्यम से बड़े पूर्णाकों के गुणनखंडन (factorization) तथा विविक्त लघुगणक (discrete logarithm) जैसी गणितीय समस्याओं को अपेक्षाकृत कम समय में हल कर सकते हैं। इस संभावित खतरे को देखते हुए शोधकर्ताओं ने पोस्ट-क्वांटम क्रिप्टोग्राफी (Post-Quantum Cryptography) का विकास प्रारंभ किया है। यह ऐसी क्रिप्टोग्राफिक तकनीकों का समूह है जो उन गणितीय समस्याओं पर आधारित होती हैं जिन्हें न केवल पारंपरिक कंप्यूटर बल्कि क्वांटम कंप्यूटर के लिए भी हल करना अत्यंत कठिन माना जाता है।

पोस्ट-क्वांटम क्रिप्टोग्राफी के प्रमुख वर्गों में लैटिस-आधारित क्रिप्टोग्राफी (Lattice-Based Cryptography), कोड-आधारित क्रिप्टोग्राफी (Code-Based Cryptography), हैश-आधारित क्रिप्टोग्राफी (Hash-Based Cryptography) तथा मल्टीवेरिएट बहुपद क्रिप्टोग्राफी (Multivariate Polynomial Cryptography) शामिल हैं। लैटिस-आधारित क्रिप्टोग्राफी उच्च आयामी वेक्टर स्पेस में स्थित बिंदुओं की ज्यामितीय संरचना पर आधारित होती है, जहाँ Shortest Vector Problem (SVP) तथा Learning With Errors (LWE) जैसी समस्याएँ अत्यंत कठिन मानी जाती हैं। इसी प्रकार कोड-आधारित क्रिप्टोग्राफी त्रुटि-सुधार कोड (error-correcting codes) पर आधारित होती है, जबकि हैश-आधारित क्रिप्टोग्राफी सुरक्षित क्रिप्टोग्राफिक हैश फ़ंक्शन का उपयोग करके डिजिटल हस्ताक्षर (digital signatures) प्रदान करती है।

हाल के वर्षों में कई अंतरराष्ट्रीय मानकीकरण संस्थाएँ, विशेष रूप से NIST (National Institute of Standards and Technology), पोस्ट-क्वांटम एल्गोरिथ्म के मानकीकरण पर कार्य कर रही हैं। NIST द्वारा प्रस्तावित कुछ महत्वपूर्ण एल्गोरिथ्म जैसे CRYSTALS-Kyber, CRYSTALS-Dilithium, Falcon, और SPHINCS+ को भविष्य की सुरक्षित संचार प्रणालियों के लिए संभावित मानक के रूप में चुना गया है। इन एल्गोरिथ्म का उद्देश्य यह सुनिश्चित करना है कि भविष्य में भी डिजिटल संचार, डेटा गोपनीयता और साइबर सुरक्षा को क्वांटम कंप्यूटरों के संभावित खतरे से सुरक्षित रखा जा सके।

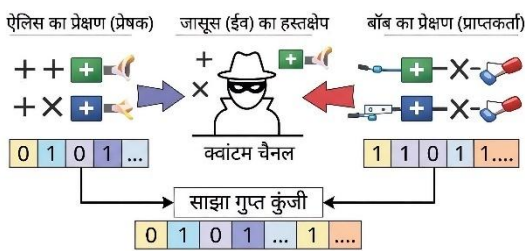


आकृति 4: क्वांटम यांत्रिकी से उत्पन्न क्वांटम कंप्यूटिंग तथा क्वांटम क्रिप्टोग्राफी की भौतिकी-आधारित सुरक्षा प्रणाली

6.भौतिकी-आधारित सुरक्षा की गारंटी:-

क्वांटम क्रिप्टोग्राफी की सुरक्षा अंततः मापन के दौरान क्वांटम प्रणालियों के भौतिक व्यवहार द्वारा सुनिश्चित होती है। जब कोई आक्रमणकारी क्वांटम संचार चैनल को देखने या मापने का प्रयास करता है, तो मापन की यह क्रिया क्वांटम अवस्थाओं को परिवर्तित कर देती है, जिसके परिणामस्वरूप साझा कुंजी में स्पष्ट त्रुटियाँ उत्पन्न होती हैं। इन त्रुटि दरों की निगरानी करके वैध उपयोगकर्ता गुप्त रूप से की जा रही जासूसी का पता लगा सकते हैं और समझौता की गई कुंजियों को त्याग सकते हैं।

इस प्रकार, क्वांटम क्रिप्टोग्राफी की सुरक्षा संगणनात्मक सीमाओं से संबंधित मान्यताओं पर नहीं, बल्कि प्राकृतिक भौतिक नियमों पर आधारित होती है, जिससे यह भविष्य की तकनीकी प्रगति के प्रति कहीं अधिक प्रतिरोधी बन जाती है।



आकृति 5: BB84 क्वांटम कुंजी वितरण (Quantum Key Distribution) प्रोटोकॉल :- यह आकृति BB84 प्रोटोकॉल को दर्शाती है, जिसमें प्रेषक (एलिस) और प्राप्तकर्ता (बॉब) फोटॉनों के क्वांटम अवस्थाओं का उपयोग करके एक साझा गुप्त कुंजी स्थापित करते हैं। किसी भी अनधिकृत हस्तक्षेप (ईव्सड्रॉपर) की स्थिति में त्रुटियाँ उत्पन्न होती हैं, जिससे जासूसी का पता चल जाता है।

7.पोस्ट-क्वांटम क्रिप्टोग्राफी में क्वांटम भौतिकी की भूमिका

जहाँ क्वांटम क्रिप्टोग्राफी क्वांटम तकनीक का उपयोग करती है, वहीं पोस्ट-क्वांटम क्रिप्टोग्राफी ऐसी पारंपरिक (क्लासिकल) विधियाँ विकसित करती है जो क्वांटम हमलों के प्रति प्रतिरोधी होती हैं। फिर भी, इस संदर्भ में भी भौतिकी हमारी समझ में मदद करती है, विशेषकर निम्नलिखित पहलुओं में:

- संगणनात्मक सीमाएँ (Computational limitations)
- शोर और डिकोहेरेंस (Noise and decoherence)
- वृहद-स्तरीय क्वांटम कंप्यूटरों की भौतिक व्यावहारिकता (Physical feasibility of large-scale quantum computers)

इन भौतिक पहलुओं का अध्ययन यह निर्धारित करने में सहायक होता है कि क्वांटम-प्रतिरोधी प्रणालियाँ कितनी प्रभावी और व्यवहार में लागू करने योग्य हैं।

[6]

8.आधुनिक पोस्ट-क्वांटम क्रिप्टोग्राफी और हाल की प्रगति

क्वांटम संगणना में तीव्र प्रगति ने पारंपरिक सार्वजनिक-कुंजी क्रिप्टोग्राफी जैसे RSA और ECC की दीर्घकालिक सुरक्षा पर गंभीर प्रश्न उत्पन्न कर दिए हैं, क्योंकि शोर के एल्गोरिथ्म जैसे क्वांटम एल्गोरिथ्म बड़े पूर्णांकों के गुणखंडन को बहुपद समय में हल करने में सक्षम हैं। इसी संदर्भ में पोस्ट-क्वांटम क्रिप्टोग्राफी (Post-Quantum Cryptography – PQC) का विकास हुआ है, जिसका उद्देश्य ऐसे क्रिप्टोग्राफिक तंत्र विकसित करना है जो शास्त्रीय तथा क्वांटम दोनों प्रकार के आक्रमणों के विरुद्ध सुरक्षित हों। आधुनिक PQC मुख्यतः उन गणितीय समस्याओं पर आधारित है जिन्हें क्वांटम कंप्यूटर द्वारा भी कुशलतापूर्वक हल करना कठिन माना जाता है। इनमें लैटिस-आधारित, कोड-आधारित, हैश-आधारित तथा बहुवेरीय बहुपद-आधारित प्रणालियाँ प्रमुख हैं।

लैटिस-आधारित क्रिप्टोग्राफी विशेष रूप से Learning With Errors (LWE) समस्या पर आधारित है, जिसे निम्न प्रकार व्यक्त किया जाता है:

$$As+e \equiv b \pmod{q}$$

यहाँ A एक ज्ञात मैट्रिक्स है, s गुप्त वेक्टर, e एक छोटा त्रुटि वेक्टर तथा q मॉड्यूलस है। इस समीकरण से s को ज्ञात करना गणनात्मक रूप से अत्यंत कठिन माना जाता है, यहाँ तक कि क्वांटम कंप्यूटर के लिए भी। इसी कारण LWE तथा Ring-LWE आधारित योजनाएँ वर्तमान में सर्वाधिक लोकप्रिय हैं। कोड-आधारित क्रिप्टोग्राफी त्रुटि-सुधार कोडों की कठिन डिजिटल डिफिकल्टी समस्या पर आधारित है, जबकि हैश-आधारित डिजिटल हस्ताक्षर योजनाएँ हैश फलनों की टकराव-प्रतिरोधकता पर निर्भर करती हैं, जिसे सामान्य रूप से इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:

$$H(m1 || m2)$$

जहाँ H एक सुरक्षित हैश फलन है और || संयोजन (concatenation) को दर्शाता है। बहुवेरीय बहुपद-आधारित प्रणालियाँ सीमित क्षेत्र (finite field) पर परिभाषित अनेक बहुपद समीकरणों को हल करने की कठिनाई पर आधारित होती हैं।

हाल के वर्षों में पोस्ट-क्वांटम एल्गोरिथ्मों के मानकीकरण की दिशा में महत्वपूर्ण प्रगति हुई है, विशेषकर NIST द्वारा संचालित चयन प्रक्रिया के माध्यम से, जिसमें लैटिस-आधारित की-एन्क्रिप्शुलेशन और हैश-आधारित हस्ताक्षर योजनाओं को प्राथमिकता दी गई है। वर्तमान अनुसंधान का मुख्य

केंद्र बिंदु कुंजी आकार को कम करना, संगणनात्मक दक्षता बढ़ाना, साइड-चैनल आक्रमणों से सुरक्षा सुनिश्चित करना तथा इन एल्गोरिथ्मों को TLS, VPN और क्लाउड संचार अवसंरचना में एकीकृत करना है। इस प्रकार, पोस्ट-क्वांटम क्रिप्टोग्राफी को भविष्य के पूर्णतः त्रुटि-सहिष्णु क्वांटम कंप्यूटरों से उत्पन्न संभावित क्रिप्टोग्राफिक खतरों के विरुद्ध एक व्यावहारिक और निकट-भविष्य समाधान के रूप में देखा जा रहा है।

9. प्रायोगिक और तकनीकी चुनौतियाँ

व्यावहारिक क्वांटम कंप्यूटर और क्वांटम क्रिप्टोग्राफी प्रणालियाँ विकसित करने में महत्वपूर्ण भौतिक चुनौतियाँ सामने आती हैं, जैसे कि:

- पर्यावरणीय अंतःक्रियाओं के कारण डिकोहेरेंस (Decoherence)
- क्वांटम शोर और त्रुटि सुधार (Quantum Noise and Error Correction)
- लंबी दूरी पर उलझाव (Entanglement) को बनाए रखना

ये समस्याएँ सीधे क्वांटम अवस्थाओं की नाजुकता से उत्पन्न होती हैं और इन्हें पार करना क्वांटम प्रौद्योगिकी के विकास की सबसे बड़ी बाधाओं में से एक है।



आकृति 6: NISQ युग की क्वांटम संगणन संरचना:- यह आकृति NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum) युग की क्वांटम कंप्यूटिंग संरचना को दर्शाती है। इसमें क्वांटम प्रोसेसर, त्रुटि सुधार तंत्र और पारंपरिक नियंत्रण प्रणाली शामिल हैं। वर्तमान क्वांटम प्रणालियाँ शोर और डिकोहेरेंस से प्रभावित होती हैं, जिससे पूर्ण त्रुटिरहित गणना अभी एक चुनौती बनी हुई है।

इसके विपरीत, त्रुटि-सहिष्णु क्वांटम संगणना (Fault-Tolerant Quantum Computing) क्वांटम त्रुटि-सुधार तकनीकों पर आधारित होती है, जिनकी सहायता से अनेक भौतिक क्यूबिट्स को संयोजित कर एक तार्किक (Logical) क्यूबिट निर्मित किया जाता है। जहाँ NISQ युग की प्रणालियाँ संकर (Hybrid) एल्गोरिथ्मों तथा प्रायोगिक प्रदर्शनों के लिए उपयोगी हैं, वहीं RSA जैसी पारंपरिक क्रिप्टोग्राफिक प्रणालियों को शोर के एल्गोरिथ्म द्वारा तोड़ने जैसे बड़े पैमाने के क्रिप्टोग्राफिक आक्रमणों के लिए पूर्णतः त्रुटि-सहिष्णु संरचना आवश्यक है। यह अंतर वर्तमान क्वांटम हार्डवेयर और भविष्य की विस्तृत, मापनीय (Scalable) प्रणालियों के बीच विद्यमान तकनीकी अंतर को स्पष्ट रूप से दर्शाता है।

क्वांटम संगणना में किसी एक क्यूबिट की सामान्य अवस्था को गणितीय रूप से इस प्रकार व्यक्त किया जाता है $|\Psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$

जहाँ α और β जटिल (complex) प्रायिकता आयाम (probability amplitudes) हैं तथा $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$

यह सामान्यीकरण (Normalization) शर्त को दर्शाता है।

क्वांटम कंप्यूटिंग में सूचना को संग्रहित और संसाधित करने के लिए क्वांटम बिट (qubit) का उपयोग किया जाता है, जो पारंपरिक बिट की तुलना में सुपरपोज़िशन और एंटैंगलमेंट जैसे क्वांटम गुणों के कारण अधिक शक्तिशाली होता है। वर्तमान में क्विबिट्स को कार्यान्वित करने के लिए कई भौतिक तकनीकों का उपयोग किया जा रहा है, जिनमें प्रमुख रूप से सुपरकंडक्टिंग सर्किट (Superconducting Circuits), ट्रैप्ड आयन (Trapped Ions) और फोटोनिक क्वांटम सिस्टम (Photonic Quantum Systems) शामिल हैं। प्रत्येक तकनीक के अपने विशिष्ट लाभ, सीमाएँ और अनुप्रयोग क्षेत्र हैं।

सुपरकंडक्टिंग क्विबिट्स माइक्रोवेव सर्किट और जोसेफसन जंक्शन (Josephson Junction) पर आधारित होते हैं और इन्हें अत्यंत निम्न तापमान (लगभग मिलीकैल्विन) पर संचालित किया जाता है। इनका मुख्य लाभ यह है कि क्वांटम गेट्स को बहुत तेज गति से संचालित किया जा सकता है, जिसके कारण कई आधुनिक क्वांटम कंप्यूटर, जैसे कि IBM और Google के क्वांटम प्रोसेसर, इसी तकनीक का उपयोग करते हैं। दूसरी ओर ट्रैप्ड आयन क्विबिट्स में आयनों को विद्युत-चुंबकीय क्षेत्र के माध्यम से एक वैक्यूम चैंबर में स्थिर रखा जाता है। इस तकनीक का सबसे बड़ा लाभ इसका उच्च कोहेरेंस समय (coherence time) और अत्यधिक सटीक क्वांटम गेट संचालन है, जिससे यह उच्च गुणवत्ता वाले क्वांटम गणनाओं के लिए उपयुक्त मानी जाती है।

इसके अतिरिक्त फोटोनिक क्वांटम सिस्टम में सूचना को प्रकाश कणों (photons) के ध्रुवीकरण (polarization) या फेज के माध्यम से एन्कोड किया जाता है। इस तकनीक का सबसे बड़ा लाभ यह है कि फोटॉन लंबी दूरी तक बिना अधिक क्षति के यात्रा कर सकते हैं, जिससे यह क्वांटम संचार और Quantum Key Distribution (QKD) के लिए अत्यंत उपयोगी सिद्ध होती है। हालांकि प्रत्येक तकनीक में कुछ चुनौतियाँ भी मौजूद हैं, जैसे कि स्केलेबिलिटी, त्रुटि-सुधार और स्थिरता। इसलिए वर्तमान शोध का मुख्य उद्देश्य ऐसी क्वांटम हार्डवेयर तकनीक विकसित करना है जो अधिक स्थिर, त्रुटि-प्रतिरोधी और बड़े पैमाने पर स्केलेबल हो, ताकि भविष्य में व्यावहारिक और शक्तिशाली क्वांटम कंप्यूटर बनाए जा सकें।

10. भविष्य की संभावनाएँ

क्वांटम कंप्यूटिंग के तीव्र विकास से क्रिप्टोग्राफी और सुरक्षित संचार की दुनिया में मौलिक परिवर्तन आने की भविष्यवाणी की जा रही है। जैसे-जैसे वृहद-स्तरीय क्वांटम कंप्यूटर अधिक वास्तविक होते जा रहे हैं, संगणनात्मक कठिनाता पर आधारित पारंपरिक एन्क्रिप्शन सिस्टम सुरक्षा खतरों का सामना करेंगे। इसी कारण, वैश्विक स्तर पर क्वांटम-सुरक्षित प्रौद्योगिकी की ओर रुझान बढ़ा है, जिसमें क्वांटम क्रिप्टोग्राफी और पोस्ट-क्वांटम क्रिप्टोग्राफिक विधियाँ शामिल हैं। ये दृष्टिकोण क्वांटम हमलावरों की उपस्थिति में दीर्घकालिक सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिए विकसित किए गए हैं।

विशेष रूप से, क्वांटम क्रिप्टोग्राफी, और विशेषकर क्वांटम कुंजी वितरण (QKD), भविष्य की संचार संरचनाओं में महत्वपूर्ण भूमिका निभाने की संभावना रखती है। क्वांटम रिपीटर्स, सैटेलाइट-आधारित क्वांटम संचार, और एकीकृत फोटोनिक सिस्टम में चल रही शोध दूरियों, शोर और डिकोहेरेंस जैसी वर्तमान सीमाओं को पार करने का लक्ष्य रखती है। इसी समय, प्रायोगिक

क्वांटम भौतिकी में प्रगति, जैसे कि तेज़ कोहरेस समय और अधिक दोष-रोधी क्वांटम संरचनाएँ, क्वांटम संगणना की शक्ति और क्वांटम-सुरक्षित प्रोटोकॉल की प्रभावशीलता दोनों पर प्रभाव डालेगी।

दीर्घकाल में, क्वांटम भौतिकी, कंप्यूटर और एन्क्रिप्शन के संगम से सूचना सुरक्षा की अवधारणा पूरी तरह बदल जाएगी। सुरक्षा मॉडल केवल गणितीय मान्यताओं पर नहीं, बल्कि भौतिक नियमों पर आधारित होंगे, जो क्वांटम युग में भौतिकी-आधारित सुरक्षा की दिशा में एक मौलिक परिवर्तन को दर्शाता है।

11. निष्कर्ष

क्वांटम कंप्यूटिंग संगणना में एक मौलिक क्रांति का प्रतिनिधित्व करती है, जो क्वांटम भौतिकी के सिद्धांतों द्वारा प्रेरित है। इसका उद्भव उन पारंपरिक क्रिप्टोग्राफिक प्रणालियों के लिए गंभीर चुनौतियाँ प्रस्तुत करता है, जो

संगणनात्मक कठिनता पर आधारित हैं। वहीं, क्वांटम भौतिकी सुरक्षा प्रदान करने के लिए क्वांटम एन्क्रिप्शन के रूप में शक्तिशाली समाधान भी प्रदान करती है, जो गणितीय जटिलता के बजाय प्राकृतिक सिद्धांतों पर आधारित है। क्वांटम कुंजी वितरण (Quantum Key Distribution – QKD) जैसे प्रोटोकॉल यह दर्शाते हैं कि अध्यारोपण (superposition), मापन-प्रेरित व्यवधान (measurement disturbance), और नो-क्लॉनिंग प्रमेय (no-cloning theorem) जैसी भौतिक घटनाओं का उपयोग करके सुरक्षित संचार स्थापित किया जा सकता है।

भौतिकी, क्वांटम कंप्यूटिंग और क्रिप्टोग्राफी के बीच घनिष्ठ संबंध भौतिकी-आधारित सुरक्षा ढाँचों की ओर एक बदलाव का संकेत देता है। जैसे-जैसे क्वांटम तकनीकें विकसित होंगी, सुरक्षित संचार का भविष्य क्वांटम-प्रतिरोधी क्रिप्टोग्राफिक एल्गोरिदम को व्यावहारिक क्वांटम संचार प्रणालियों में एकीकृत करने पर निर्भर करेगा। अतः, क्वांटम क्रिप्टोग्राफी केवल तकनीकी सुधार नहीं है; यह एक प्रतिमान परिवर्तन है, जो क्वांटम युग में सूचना सुरक्षा की परिभाषा को पुनः निर्धारित करता है।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. Deutsch, D. (1985). Quantum theory, the Church–Turing principle and the universal quantum computer. *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences*, 400(1818), 97-117. <https://doi.org/10.1098/rspa.1985.0070>
2. Feynman, R. P. (2018). Simulating physics with computers. In *Feynman and computation* (pp. 133-153). cRc Press.
3. Shor, P. W. (1994, November). Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring. In *Proceedings 35th annual symposium on foundations of computer science* (pp. 124-134). Ieee. <https://doi.org/10.1109/SFCS.1994.365700>
4. Grover, L. K. (1996, July). A fast quantum mechanical algorithm for database search. In *Proceedings of the twenty-eighth annual ACM symposium on Theory of computing* (pp. 212-219). <https://dl.acm.org/doi/10.1145/237814.237866>
5. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum computation and quantum information*. Cambridge university press.
6. Bennett, C. H., & Brassard, G. (2014). Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing. *Theoretical computer science*, 560, 7-11. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2014.05.025>



ब्रह्माण्ड का अदृश्य आधार: डार्क मैटर एवं गुरुत्वाकर्षण के नए आयाम

विवेक मिश्रा* एवं नितेश शुक्ला*

भौतिक विज्ञान विभाग, दिग्विजयनाथ स्नातकोत्तर महाविद्यालय, सिविल लाइन्स, गोरखपुर, उत्तर प्रदेश, भारत-२७३००१
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- vivekm1125@gmail.com, nsniteshshukla@gmail.com*

आलेख प्राप्त: ०२ फरवरी २०२६; अंतिम संशोधित: २५ मार्च २०२६; स्वीकृत: २५ मार्च २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २६ अप्रैल २०२६

सारांश

आधुनिक खगोल भौतिकी के क्षेत्र में सबसे बड़ी पहेली ब्रह्माण्ड के उस ९५ प्रतिशत हिस्से को समझना है जो अदृश्य है। इस आलेख में हम 'डार्क मैटर' (अदृश्य पदार्थ) की सैद्धांतिक आवश्यकता और 'संशोधित न्यूटनियन गतिकी' (MOND) जैसे वैकल्पिक सिद्धांतों का तुलनात्मक अध्ययन करेंगे। 'बुलेट क्लस्टर' की प्रत्यक्ष अवलोकनों से लेकर 'रेडियल एक्सेलरेशन रिलेशन' (RAR) की गणितीय शुद्धता तक, यह लेख भौतिकी की उन सीमाओं का अन्वेषण करता है जहाँ वर्तमान मानक मॉडल को नई चुनौतियों का सामना करना पड़ रहा है।

सूचक शब्द: डार्क मैटर, गुरुत्वाकर्षण, बुलेट क्लस्टर



The Invisible Foundation of The Universe: Dark Matter and New Dimensions of Gravity

Vivek Mishra*, Nitesh Shukla*

Department of Physics, Digvijaynath Postgraduate College, Civil Lines, Gorakhpur, Uttar Pradesh, India -273001
Corresponding Author Email*: vivekm1125@gmail.com, nsniteshshukla@gmail.com

Received On: 02 February 2026; Final Revision: 25 March 2026; Accepted On: 25 March 2026
Published Online First: 26 April 2026

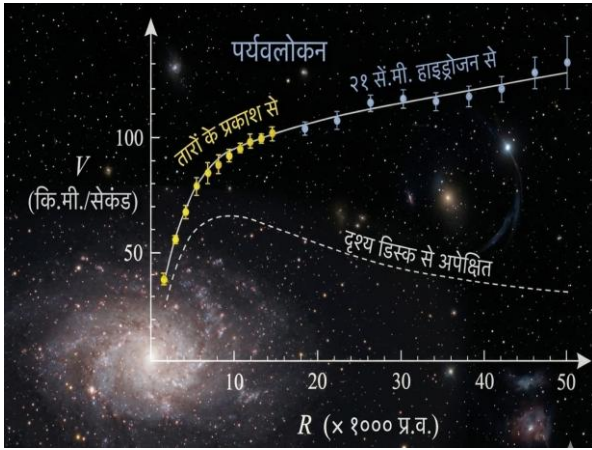
ABSTRACT

The biggest puzzle in the field of modern astrophysics is understanding the 95% of the universe that remains invisible. According to scientific calculations, this invisible portion consists of approximately 27% Dark Matter and 68% Dark Energy. In this article, we will conduct a comparative study of the theoretical necessity of Dark Matter and alternative theories such as Modified Newtonian Dynamics (MOND). From the direct observations of the 'Bullet Cluster' to the mathematical precision of the 'Radial Acceleration Relation' (RAR), this text explores the boundaries of physics where the current Standard Model is facing new challenges.

Keywords: Dark Matter, Bullet Cluster, Dragonfly 44, Gravitational lensing, MOND, RAR

सार-संक्षेप

आधुनिक खगोल भौतिकी के क्षेत्र में सबसे बड़ी पहेली ब्रह्मांड के उस ९५ प्रतिशत हिस्से को समझना है जो अदृश्य है। वैज्ञानिक गणनाओं के अनुसार, इस अदृश्य भाग में लगभग २७ प्रतिशत डार्क मैटर (अदृश्य पदार्थ) और ६८ प्रतिशत डार्क एनर्जी (अदृश्य ऊर्जा) सम्मिलित है। इस आलेख में हम डार्क मैटर की सैद्धांतिक आवश्यकता और 'संशोधित न्यूटनियन गतिकी' (MOND) जैसे वैकल्पिक सिद्धांतों का तुलनात्मक अध्ययन करेंगे। इस आलेख में हम 'डार्क मैटर' (अदृश्य पदार्थ) की सैद्धांतिक आवश्यकता और 'संशोधित न्यूटनियन गतिकी' (MOND) जैसे वैकल्पिक सिद्धांतों का तुलनात्मक अध्ययन करेंगे। 'बुलेट क्लस्टर' की प्रत्यक्ष अवलोकनों से लेकर 'रेडियल एक्सेलरेशन रिलेशन' (RAR) की गणितीय शुद्धता तक, यह लेख भौतिकी की उन सीमाओं का अन्वेषण करता है जहाँ वर्तमान मानक मॉडल को नई चुनौतियों का सामना करना पड़ रहा है।



चित्र १: आकाशगंगा का घूर्णन वक्र (Rotation Curve) - प्रेक्षित बनाम सैद्धांतिक।

आकाशगंगा के भीतर तारों की गति चित्र १, यह दर्शाती है कि बाहरी तारे भी उतनी ही तेजी से घूमते हैं जैसे कि केन्द्र के पास वाले तारे। यह भी संकेत मिलता है कि बिना डार्क मैटर के इन तारों को धीमा हो जाना चाहिए। यह विसंगति सिद्ध करती है कि आकाशगंगा के चारों ओर एक विशाल अदृश्य द्रव्यमान का घेरा मौजूद है।[१]

ऐतिहासिक पृष्ठभूमि: अदृश्य द्रव्यमान की पहली आहट

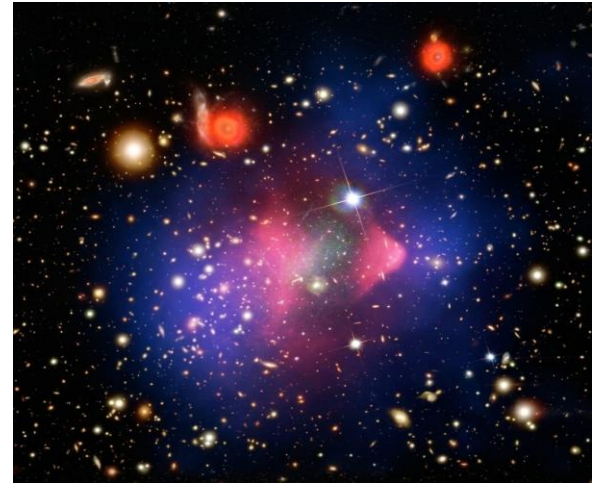
ब्रह्मांड की दृश्य सीमाओं से परे कुछ होने का पहला संकेत १९३३ में स्विट्स खगोलशास्त्री फ्रिट्ज़ ज़्विकी ने दिया था। 'कोमा क्लस्टर' का अध्ययन करते समय उन्होंने पाया कि आकाशगंगाएँ इतनी तेजी से गति कर रही हैं कि उन्हें क्लस्टर के भीतर रहने के लिए दिखाई देने वाले द्रव्यमान से कहीं अधिक गुरुत्वाकर्षण की आवश्यकता थी। उन्होंने इसे 'डंकल मटेरि' (Dunkle Materie) अर्थात् 'कृष्ण पदार्थ' या 'अदृश्य द्रव्यमान' का नाम दिया। हालांकि, इस विचार को व्यापक मान्यता १९७० के दशक में मिली, जब वेरा रुबिन और केंट फोर्ड ने आकाशगंगाओं के घूर्णन वक्र (Rotation Curves) का विश्लेषण किया। उन्होंने देखा कि आकाशगंगा के केंद्र से हजारों प्रकाश वर्ष दूर स्थित तारों का वेग भी केंद्र के पास वाले तारों के समान ही था। न्यूटन के 'व्युत्क्रम वर्ग नियम' के अनुसार, बाहरी तारों की गति कम होनी चाहिए थी। इस विसंगति ने यह स्पष्ट कर दिया कि आकाशगंगाओं के चारों

ओर एक विशाल अदृश्य 'हेलो' (Halo) मौजूद है जो अतिरिक्त गुरुत्वाकर्षण प्रदान कर रहा है।[२]

डार्क मैटर के प्रमाण: प्रयोग और प्रेक्षण

1. बुलेट क्लस्टर (The Bullet Cluster - 1E 0657-558):

यह ब्रह्मांडीय प्रयोगशाला का सबसे महत्वपूर्ण साक्ष्य है। जब दो विशाल आकाशगंगा समूह आपस में टकराते हैं, तो उनके भीतर की गर्म गैस (जो सामान्य पदार्थ है) विद्युत-चुम्बकीय बलों के कारण आपस में रगड़ खाती है और धीमी हो जाती है। इसके विपरीत, डार्क मैटर बिना किसी घर्षण के एक-दूसरे के आर-पार निकल जाता है। 'ग्रेविटेशनल लेंसिंग' के माध्यम से जब कुल द्रव्यमान का मानचित्रण किया गया, तो पाया गया कि द्रव्यमान का केंद्र गैस के केंद्र से बहुत अलग था। यह प्रमाणित करता है कि डार्क मैटर एक वास्तविक भौतिक कण है, न कि केवल गुरुत्वाकर्षण की कोई त्रुटि।[३]



चित्र २: बुलेट क्लस्टर (Bullet Cluster) में डार्क मैटर और गैस का वितरण।

बुलेट क्लस्टर की छवि डार्क मैटर के अस्तित्व का सबसे ठोस प्रमाण है। चित्र २ [४] इसमें गुलाबी रंग गर्म गैस (दृश्य पदार्थ) को दर्शाता है जो टकराने के बाद बीच में रुक गई है। वहीं, नीला हिस्सा उस स्थान को दर्शाता है जहाँ गुरुत्वाकर्षण बल (Mass) सबसे अधिक है। इन दोनों का अलग होना यह स्पष्ट करता है कि डार्क मैटर सामान्य पदार्थ के साथ घर्षण नहीं करता और उससे अलग व्यवहार करता है।

2. ड्रैगनफ्लाई ४४ (Dragonfly 44) और अल्ट्रा-डिफ्यूज गैलेक्सी:

आकाशगंगा 'ड्रैगनफ्लाई ४४' ने वैज्ञानिकों को चौंका दिया क्योंकि इसमें तारों की संख्या हमारी मिल्की-वे की तुलना में १% से भी कम है, लेकिन इसका कुल गुरुत्वाकर्षण प्रभाव मिल्की-वे के बराबर है। इसका अर्थ यह है कि इस आकाशगंगा का ९९.९% द्रव्यमान डार्क मैटर के रूप में है। ऐसी आकाशगंगाएँ यह सिद्ध करती हैं कि डार्क मैटर और दृश्य पदार्थ का अनुपात ब्रह्मांड में हर जगह एक समान नहीं होता, जो कण भौतिकी के दृष्टिकोण से अत्यंत महत्वपूर्ण है।[५]

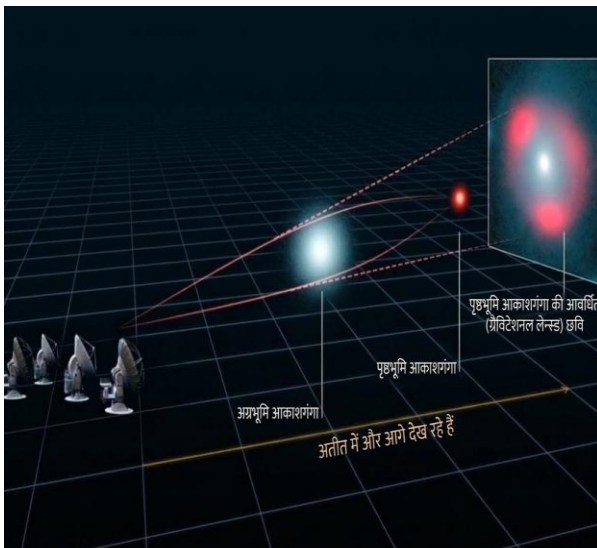


चित्र ३: ट्रेगनफ्लाई ४४ आकाशगंगा, जिसमें सामान्य तारों की तुलना में ९९.९% डार्क मैटर होने का अनुमान है।

चित्र ३ 'ट्रेगनफ्लाई ४४' आकाशगंगा का दृश्य है। [६] यह एक ऐसी अनोखी गैलेक्सी है जिसमें तारे और प्रकाश अत्यंत कम हैं, लेकिन इसका कुल भार हमारी अपनी आकाशगंगा के बराबर है। वैज्ञानिकों के अनुसार, इस गैलेक्सी का ९९.९% हिस्सा केवल डार्क मैटर से बना है, जो यह दर्शाता है कि ब्रह्मांड में दृश्य पदार्थ के बिना भी विशाल संरचनाएं मौजूद हो सकती हैं।

3. ग्रेविटेशनल लेंसिंग: (डार्क मैटर को तौलने का तराजू)

डार्क मैटर को प्रत्यक्ष रूप से देखना असंभव है क्योंकि यह प्रकाश को परावर्तित नहीं करता। लेकिन आइंस्टीन के सामान्य सापेक्षता सिद्धांत (General Relativity) के अनुसार, द्रव्यमान अंतरिक्ष के कपड़े को मोड़ देता है। जब दूर स्थित किसी आकाशगंगा का प्रकाश डार्क मैटर के विशाल ढेर से होकर गुजरता है, तो वह प्रकाश मुड़ जाता है। [७]



चित्र ४: डार्क मैटर के भारी द्रव्यमान के कारण पीछे से आने वाली आकाशगंगाओं के प्रकाश का मुड़ना।

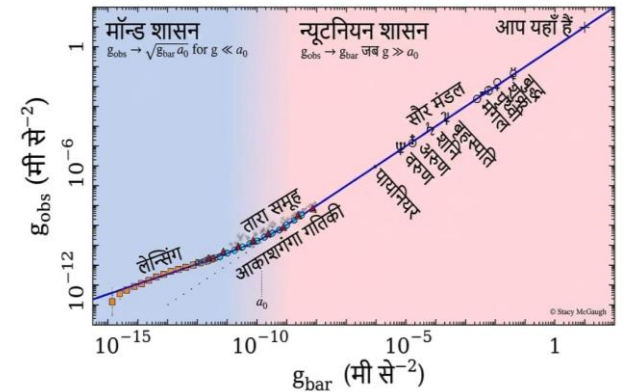
डार्क मैटर अंतरिक्ष में एक विशाल लेंस की तरह कार्य करता है। जब पीछे स्थित किसी आकाशगंगा से प्रकाश आता है, तो बीच में मौजूद डार्क मैटर का गुरुत्वाकर्षण उस प्रकाश को मोड़ देता है (Lensed image)। इसी मुड़े हुए प्रकाश का विश्लेषण करके हम उस पदार्थ का सटीक वजन माप सकते हैं जिसे हम देख नहीं सकते। चित्र ४ [८]

4. संशोधित गुरुत्वाकर्षण (MOND): एक क्रांतिकारी विकल्प

डार्क मैटर के कणों (जैसे WIMPs) की प्रत्यक्ष खोज में मिल रही विफलताओं ने 'संशोधित न्यूटनियन गतिकी' (MOND) को बल दिया है। १९८३ में मोर्दहाई मिलग्रोम द्वारा प्रस्तावित यह सिद्धांत कहता है कि गुरुत्वाकर्षण का नियम 'त्वरण' के एक निश्चित स्तर ($1.2 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$) के नीचे बदल जाता है। हालांकि, MOND सिद्धांत आकाशगंगाओं के घूर्णन वक्र की सफल व्याख्या तो करता है, परंतु 'आकाशगंगा समूहों' के स्तर पर यह पूर्णतः सटीक नहीं बैठता। क्लस्टर के भीतर गुरुत्वाकर्षण की विसंगति को पूरी तरह समझने के लिए MOND को अभी भी कुछ अतिरिक्त द्रव्यमान (जैसे कि न्यूट्रिनो) की आवश्यकता पड़ती है। [९]

रेडियल एक्सेलरेशन रिलेशन (RAR):

हाल के वर्षों में १५३ आकाशगंगाओं के अध्ययन से एक अत्यंत सटीक संबंध 'रेडियल एक्सेलरेशन रिलेशन' सामने आया है। यह दर्शाता है कि आकाशगंगाओं में पाया जाने वाला कुल त्वरण और दृश्य पदार्थ के कारण होने वाला त्वरण एक-दूसरे से गणितीय रूप से जुड़े हुए हैं। यदि डार्क मैटर एक स्वतंत्र पदार्थ होता, तो हर आकाशगंगा में यह संबंध अलग होना चाहिए था। RAR की यह सटीकता इंगित करती है कि शायद हमें डार्क मैटर जैसे किसी 'भूतिया कण' की आवश्यकता नहीं है, बल्कि हमें गुरुत्वाकर्षण के नियमों को संशोधित करने की आवश्यकता है। [१०]



चित्र ५: रेडियल एक्सेलरेशन रिलेशन (RAR) का ग्राफ और MOND की सटीकता।

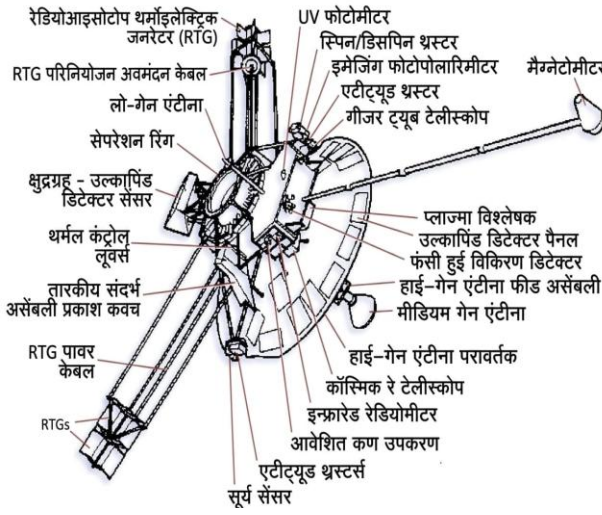
रेडियल एक्सेलरेशन रिलेशन (RAR) का ग्राफ चित्र ५ डार्क मैटर की अवधारणा को चुनौती देता है। [११] यह दिखाता है कि तारों का त्वरण (Acceleration) उनके दृश्य द्रव्यमान के साथ एक अत्यंत सटीक गणितीय संबंध रखता है। यह ग्राफ 'MOND Regime' की ओर इशारा करता है, जहाँ गुरुत्वाकर्षण के नियम न्यूटन के सिद्धांतों से अलग होकर एक नई दिशा में काम करते दिखाई देते हैं।

पायनियर विसंगति (Pioneer Anomaly):

डार्क मैटर की पहेली केवल दूर स्थित आकाशगंगाओं तक ही सीमित नहीं है, बल्कि हमारे अपने सौर मंडल के छोर पर भी कुछ असामान्य

संकेत मिले हैं। १९७० के दशक में पायनियर १० और ११ की गति में जो सूक्ष्म बदलाव देखे गए थे, उन्हें लंबे समय तक एक पहली माना गया और इसे 'पायनियर विसंगति' का नाम दिया गया। हालांकि, आधुनिक डेटा विश्लेषण (२०१२) से यह सिद्ध हो चुका है कि यह विसंगति गुरुत्वाकर्षण के किसी नए नियम के कारण नहीं, बल्कि 'तापीय विकिरण बल' के कारण थी। यान के भीतर मौजूद बिजली उपकरणों और रेडियोआइसोटोप थर्मोइलेक्ट्रिक जनरेटर (RTG) से निकलने वाली गर्मी एक विशिष्ट दिशा में दबाव पैदा कर रही थी, जिससे उनकी गति में सूक्ष्म कमी आई।

वैज्ञानिकों ने पाया कि ये यान अपनी गणना की गई स्थिति से थोड़ा पीछे रह रहे थे, जैसे कि कोई अज्ञात बल उन्हें सूर्य की ओर खींच रहा हो। इसे ही 'पायनियर विसंगति' कहा जाता है। [१२]



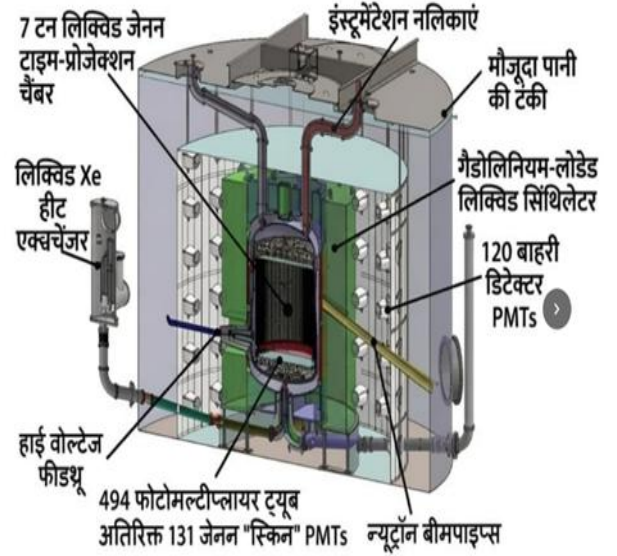
चित्र ६: पायनियर अंतरिक्ष यान और उसकी गति में देखी गई सूक्ष्म विसंगति। [१४] [१५]

चित्र ६ पायनियर अंतरिक्ष यान की तकनीकी संरचना को दिखाया गया है। [१३] इन यानों की गति में जो सूक्ष्म बदलाव (Anomaly) देखे गए, वे वैज्ञानिकों के लिए एक पहली बन गए थे। इसने यह सोचने पर मजबूर किया कि क्या हमारे गुरुत्वाकर्षण के नियम सौर मंडल की सीमाओं के बाहर भी वैसे ही काम करते हैं या उनमें कोई सूक्ष्म संशोधन आवश्यक है।

5. आधुनिक पहचान तकनीकें और वैश्विक प्रयोग

ब्रह्मांड के इस रहस्य को सुलझाने के लिए पृथ्वी पर और अंतरिक्ष में कई जटिल प्रयोग किए जा रहे हैं:

डार्क मैटर के कणों को सीधे पकड़ने के लिए पृथ्वी की गहराई में बने डिटेक्टर को चित्र ७ में दिया गया है। चित्र ७ में ऊपर की ओर इसके आंतरिक भागों का नक्शा (Schematic) है, जिसमें ७ टन तरल क्सीनन का उपयोग किया जाता है। यह प्रयोग दुनिया भर के वैज्ञानिकों की उस कोशिश का हिस्सा



LUX-ZEPLIN डार्क मैटर डिटेक्टर (दाएं) और निर्माणाधीन (बाएं) के आंतरिक भागों का योजनाबद्ध

चित्र ७: लक्स-जेपलिन (LUX-ZEPLIN): अमेरिका के दक्षिण डकोटा में एक मील गहरी खदान के भीतर स्थित यह प्रयोग ७ टन तरल क्सीनन का उपयोग करता है।

है जिससे हम इस अदृश्य पदार्थ के रहस्यमयी कणों की पहचान कर सकें। इन रहस्यमयी कणों के मुख्य उम्मीदवारों में WIMPs के अलावा अब 'एक्सियोन्स' (Axions) और 'स्टाइल न्यूट्रिनो' (Sterile Neutrinos) को भी शामिल किया गया है। ये कण विद्युत-चुंबकीय बल से कोई क्रिया नहीं करते, जिससे इन्हें पहचानना एक बड़ी वैज्ञानिक चुनौती है। [१४, १५]

- लक्स-जेपलिन (LUX-ZEPLIN): अमेरिका के दक्षिण डकोटा में एक मील गहरी खदान के भीतर स्थित यह प्रयोग ७ टन तरल क्सीनन का उपयोग करता है। इसका उद्देश्य डार्क मैटर के उन अत्यंत दुर्लभ कणों को पकड़ना है जो पृथ्वी से बिना किसी बाधा के गुजर जाते हैं।
- लार्ज हैड्रॉन कोलाइडर (LHC): सर्न में वैज्ञानिक उच्च ऊर्जा पर प्रोटॉन की टक्करों से 'सुपरसिमिट्री' जैसे सिद्धांतों के आधार पर नए कणों को उत्पन्न करने का प्रयास कर रहे हैं, जो डार्क मैटर के उम्मीदवार हो सकते हैं।
- अंतरिक्ष मिशन: जेम्स वेब स्पेस टेलीस्कोप (JWST) और यूरोपीय अंतरिक्ष एजेंसी का 'यूक्लिड' (Euclid) मिशन डार्क

मैटर के वितरण का त्रि-आयामी (3D) नक्शा तैयार कर रहे हैं, जिससे इसके स्वभाव को समझने में मदद मिलेगी।[१६]

6. निष्कर्ष

ब्रह्मांड का ९५ प्रतिशत हिस्सा आज भी हमारी समझ से परे है, जिसमें डार्क मैटर एक सबसे बड़ी पहली बना हुआ है। जहाँ एक ओर WIMPs, एक्सियोन्स (Axions) और स्टाइल न्यूट्रिनो जैसे कणों की खोज डार्क मैटर के अस्तित्व को सिद्ध करने में लगी है, वहीं MOND (Modified

Newtonian Dynamics) जैसे सिद्धांत हमें गुरुत्वाकर्षण के मूलभूत नियमों पर पुनर्विचार करने के लिए प्रेरित करते हैं।

अंततः, यह संघर्ष केवल दो सिद्धांतों के बीच नहीं, बल्कि ब्रह्मांड के परम सत्य को जानने की हमारी जिज्ञासा का प्रतीक है। आने वाले समय में LUX-ZEPLIN जैसे संवेदनशील प्रयोग और जेम्स वेब (JWST) जैसे शक्तिशाली टेलीस्कोप शायद यह स्पष्ट कर पाएंगे कि हम एक 'अदृश्य पदार्थ' की दुनिया में रह रहे हैं या हमें गुरुत्वाकर्षण के अपने ज्ञान को ही बदलने की आवश्यकता है।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. E. Corbelli; P. Salucci (2000). "The extended rotation curve and the dark matter halo of M33". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 311 (2): 441-447. arXiv:astro-ph/9909252. doi:10.1046/j.1365-8711.2000.03075.x
2. Zwicky, F. (1933). Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln. *Helvetica Physica Acta*, 6, 110–127.
3. Clowe, D., et al. (2006). A Direct Empirical Proof of the Existence of Dark Matter. *The Astrophysical Journal Letters*, 648(2), L109–L113. DOI: 10.1086/508162
4. Markevitch, M., et al. (2004). Direct Constraints on the Dark Matter Self-Interaction Cross Section from the Merging Galaxy Cluster 1E 0657–56. *The Astrophysical Journal*, 606(2), 819–824. DOI: 10.1086/383178
5. van Dokkum, P., et al. (2016). A High-mass Stellar System with a Low Stellar Surface Brightness and a Massive Dark Matter Halo: Dragonfly 44. *The Astrophysical Journal Letters*, 828(1), L6. DOI:10.3847/2041-8205/828/1/L6
6. Van Dokkum, P., et al. (2017). Extensive Globular Cluster Systems as Tracers of Dark Matter Haloes in Ultra Diffuse Galaxies. *The Astrophysical Journal Letters*, 844(1), L11. DOI: 10.3847/2041-8213/aa7ca2
7. Einstein, A. (1916). Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 354(7), 769–822. DOI: 10.1002/andp.19163540702
8. Postman, M., et al. (2012). Cluster Lensing and Supernova survey with Hubble (CLASH). *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 199(2), 25. DOI: 10.1088/0067-0049/199/2/25
9. Milgrom, M. (1983). A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis. *The Astrophysical Journal*, 270, 365–370. DOI: 10.1086/161130
10. Lelli, F., McGaugh, S. S., & Schombert, J. M. (2016). Radial Acceleration Relation in Rotationally Supported Galaxies. *Physical Review Letters*, 117(20), 201101. DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.201101
11. McGaugh, S. S., et al. (2016). The Radial Acceleration Relation (RAR) Database (SPARC). *Physical Review Letters*, 117. DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.201101
12. Turyshev, S. G., et al. (2012). Support for the Thermal Origin of the Pioneer Anomaly. *Physical Review Letters*, 108(24), 241101. DOI:10.1103/PhysRevLett.108.241101
13. Nieto, M. M., & Turyshev, S. G. (2004). The Pioneer Anomaly. *Contemporary Physics*, 45(5), 387-407. DOI: 10.1080/00107510410001708081
14. Aalbers, J., et al. (LUX-ZEPLIN Collaboration). (2023). First Dark Matter Search Results from the LUX-ZEPLIN Experiment. *Physical Review Letters*, 131(4), 041002. DOI: 10.1103/PhysRevLett.131.041002
15. Preskill, J., Wise, M. B., & Wilczek, F. (1983). Cosmology of the invisible axion. *Physics Letters B*, 120(1-3), 127–132. DOI: 10.1016/0370-2693(83)90637-8
16. Euclid Collaboration, et al. (2024). Euclid preparation. I. The Euclid mission. *Astronomy & Astrophysics*, 683, A1. DOI: 10.1051/0004-6361/202347144



वैश्विक नौवहन उपग्रह प्रणालियाँ और वायुमंडल के दूरस्थ संवेदन में उनके अनुप्रयोग

अभय कुमार सिंह*

भौतिक विज्ञान विभाग, बनारस हिन्दू विश्वविद्यालय, वाराणसी, उत्तर प्रदेश, भारत-२२१००५
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- singhak@bhu.ac.in

आलेख प्राप्त: २४ मार्च २०२६; अंतिम संशोधित: ०३ अप्रैल २०२६; स्वीकृत: ०४ अप्रैल २०२६
प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २६ अप्रैल २०२६

सारांश

ग्लोबल नेविगेशन सैटेलाइट सिस्टम (जीएनएसएस), जिसे मूल रूप से पोजिशनिंग, नेविगेशन और टाइमिंग (पीएनटी) के लिए बनाया गया था, अब पृथ्वी के वायुमंडल का अध्ययन करने के लिए शक्तिशाली उपकरण बन गए हैं। यह अध्ययन स्पष्ट रूप से बताता है कि वायुमंडलीय प्रक्रियाओं की जांच के लिए जीएनएसएस का उपयोग कैसे किया जा सकता है, जिसमें विशेष रूप से आयनमंडल और क्षोभमंडल पर ध्यान केंद्रित किया गया है। जैसे ही जीएनएसएस सिग्नल वायुमंडल से यात्रा करते हैं, इलेक्ट्रॉन घनत्व और अपवर्तक सूचकांक में भिन्नता के कारण वे विलंबित हो जाते हैं। ये विलंब केवल त्रुटियाँ नहीं हैं; इनका उपयोग कुल इलेक्ट्रॉन सामग्री (टीईसी) और वायुमंडलीय जल वाष्प जैसे महत्वपूर्ण वायुमंडलीय मापदंडों का अनुमान लगाने के लिए किया जा सकता है। यह इस बात पर भी प्रकाश डालता है कि जीएनएसएस से प्राप्त टीईसी का उपयोग भू-चुंबकीय तूफानों, सौर ज्वालाओं, सूर्य ग्रहणों, भूकंपों, गरज के साथ बारिश और उष्णकटिबंधीय चक्रवातों जैसी विभिन्न वायुमंडलीय और आयनमंडलीय घटनाओं का अध्ययन करने के लिए कैसे किया जा सकता है। ये परिघटनाएं आयनमंडल में इलेक्ट्रॉनों के वितरण को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करती हैं और जीएनएसएस अवलोकनों का उपयोग करके प्रभावी ढंग से निगरानी की जा सकती है। कुल मिलाकर, यह अध्ययन दर्शाता है कि जीएनएसएस-आधारित माप स्थलमंडल, वायुमंडल और आयनमंडल के बीच युग्मन, साथ ही अंतरिक्ष मौसम प्रक्रियाओं के बारे में बहुमूल्य जानकारी प्रदान करते हैं। इसलिए, एक विश्वसनीय, किफायती और निरंतर अवलोकन उपकरण के रूप में जीएनएसएस रिमोट सेंसिंग में मौसम पूर्वानुमान, जलवायु अध्ययन और आपदा निगरानी में सुधार करने की अपार संभावना है।

सूचक शब्द: जीएनएसएस, पीएनटी, टीईसी, टीईसी, रिमोट सेंसिंग



Global Navigation Satellite Systems and Their Applications in Remote Sensing of the Atmosphere

Abhay Kumar Singh*

Department of Physics, Banaras Hindu University, Varanasi, Uttar Pradesh, India -221005
Corresponding Author Email*: singhak@bhu.ac.in

Received On: 24 March 2026; Final Revision: 03 April 2026; Accepted On: 04 April 2026
Published Online First: 26 April 2026

ABSTRACT

Global Navigation Satellite Systems (GNSS)—originally designed for Positioning, Navigation, and Timing (PNT)—have now evolved into powerful tools for studying Earth's atmosphere. This study clearly demonstrates how GNSS can be utilized to investigate atmospheric processes, with a particular focus on the ionosphere and the troposphere. As GNSS signals traverse the atmosphere, they experience delays caused by variations in electron density and the refractive index. These delays are not merely errors; rather, they can be employed to estimate critical atmospheric parameters, such as Total Electron Content (TEC) and atmospheric water vapor. The study further highlights how TEC data derived from GNSS can be utilized to investigate various atmospheric and ionospheric phenomena, including geomagnetic storms, solar flares, solar eclipses, earthquakes, thunderstorms, and tropical cyclones. These phenomena significantly influence the distribution of electrons within the ionosphere and can be effectively monitored using GNSS observations. Overall, this study demonstrates that GNSS-based measurements provide invaluable insights into the coupling between the lithosphere, the atmosphere, and the ionosphere, as well as into space weather processes. Consequently, as a reliable, cost-effective, and continuous observational tool, GNSS remote sensing holds immense potential for enhancing weather forecasting, climate studies, and disaster monitoring.

Keywords: GNSS, PNT, PNT TEC, TEC, Remote Sensing

लेखक परिचय

अपने शानदार पेशेवर करियर के दौरान, प्रो. अभय कुमार सिंह ने शिक्षण और अनुसंधान के क्षेत्र में बेहतरीन योगदान दिया है। वे कम अक्षांशों पर ऊपरी वायुमंडल के 'स्पेस वेद' (अंतरिक्ष मौसम) अध्ययन और सिंधु-गंगा बेसिन के ऊपर एयरोसोल की विशेषताओं के क्षेत्र में अपने कई महत्वपूर्ण और उत्कृष्ट योगदानों के लिए जाने जाते हैं। वे फसल अवशेष जलाने से उत्पन्न एयरोसोल और पूरे सिंधु-गंगा बेसिन क्षेत्र में उनके लंबी दूरी के परिवहन से जुड़े मुद्दों को सुलझाने में सफल रहे हैं, जिसने वैज्ञानिक समुदाय की सोच पर गहरा प्रभाव डाला है। BATAL अभियानों की एक श्रृंखला के माध्यम से, एशियाई ट्रोपोस्फीयर एयरोसोल (अटल) परत में प्रदूषित एयरोसोल की प्रकृति, निर्माण और परिवहन पर किए गए उनके अध्ययन ने अटल की कई अनसुलझी विशेषताओं को उजागर किया है। सूर्य ग्रहण पर किए गए उनके अध्ययन जिसका विश्लेषण पहली बार आठ अलग-अलग शहरों में किया गया, ने सौर विकिरण और सतह पर मौजूद ओजोन में महत्वपूर्ण कमी, मौसम संबंधी मापदंडों में गतिशील परिवर्तन, और साथ ही वायुमंडलीय गुरुत्वाकर्षण तरंगों द्वारा आयनमंडल में उत्पन्न टीआईडी दोलनों को दर्शाया। उनके कार्यों का उल्लेख पुस्तकों, समीक्षाओं और शोध पत्रों में व्यापक रूप से किया गया है। उनका एच-सूचकांक 38 और i10-सूचकांक 109 है, तथा उनके शोध पत्रों को कुल 4891 बार उद्धृत किया गया है। प्रो. सिंह ने 300 से अधिक शोध पत्र प्रकाशित किए हैं, 19 पीएचडी छात्रों का मार्गदर्शन किया है, और 4 करोड़ रुपये की लागत वाली 16 अनुसंधान परियोजनाओं को सफलतापूर्वक पूरा किया है। उन्होंने अकेले ही 'एटमोस्फेरिक रिसर्च लैब' (वायुमंडलीय अनुसंधान प्रयोगशाला) की स्थापना की, जिसे इसरो द्वारा मान्यता प्राप्त है। उन्होंने स्वीडन के उमेआ विश्वविद्यालय में एक वर्ष तक 'बॉयज़कास्ट फेलो' के रूप में कार्य किया। प्रो. सिंह ने कई देशों का दौरा किया, जिनमें नीदरलैंड, इटली, स्वीडन, हंगरी, जापान, दक्षिण कोरिया, तथा अमेरिका के न्यू ऑरलियन्स, पासाडेना और बोस्टन शामिल हैं। उनमें एक प्रभावशाली वैज्ञानिक दृष्टिकोण, प्रयोगात्मक कौशल, उच्च-गुणवत्ता वाला शोध कार्य और विशिष्ट शैक्षणिक क्षमताएँ हैं।



1. प्रस्तावना

वैश्विक नेविगेशन उपग्रह प्रणालियाँ (जीएनएसएस) मूल रूप से विश्वव्यापी नागरिक अनुप्रयोगों सहित स्थिति निर्धारण, नेविगेशन और समय निर्धारण (पीएनटी) सेवाएं प्रदान करने के लिए डिज़ाइन की गई थीं। सर्वेक्षण और नेविगेशन के क्षेत्र में जीएनएसएस पिछली सदी के सबसे महत्वपूर्ण नवाचारों में से एक है। आजकल, जीएनएसएस कई प्रकार की सेवाएं प्रदान करती हैं, जिनमें स्थिति निर्धारण, समय निर्धारण, नेविगेशन, मानचित्रण, सार्वजनिक सुरक्षा निगरानी और भौगोलिक सर्वेक्षण, समय मानक, मानचित्रण और मौसम शामिल हैं। आज के तकनीकी समाज में, जीएनएसएस इंटरनेट और मोबाइल संचार के साथ-साथ एक महत्वपूर्ण स्तंभ बन गई है। जीएनएसएस का उपयोग मौसम पूर्वानुमान, प्राकृतिक आपदाओं, जलवायु, पर्यावरण (1-4) और वायुमंडल और आयनमंडल के दूरस्थ संवेदन (5-9) में भी किया जाता है।

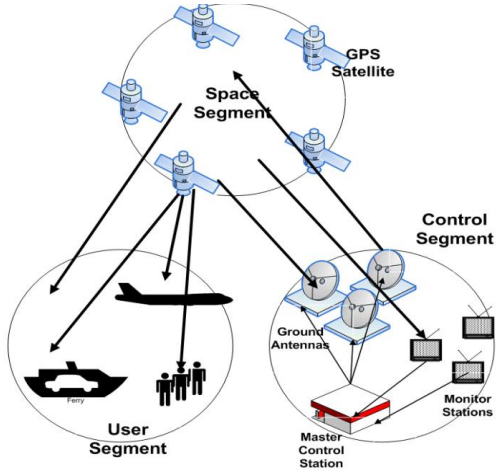
अमेरिकी सेना ने पहला नवस्टार उपग्रह विकसित किया, जिसे 1989 में लॉन्च किया गया और 24वां उपग्रह 1994 में लॉन्च किया गया, जिसके बाद अप्रैल 1995 में इसकी पूर्ण परिचालन क्षमता घोषित की गई। आज, 8000 से अधिक उपग्रह अंतरिक्ष में भेजे जा चुके हैं, जो जीएनएसएस का निर्माण करते हैं और संचार और रिमोट सेंसिंग के अन्य उद्देश्यों के लिए उपयोग किए जाते हैं। वर्तमान में, चार पूर्णतः कार्यरत जीएनएसएस और दो क्षेत्रीय नौवहन उपग्रह प्रणालियाँ (आरएनएसएस) मौजूद हैं। इनमें से दो महत्वपूर्ण और उन्नत जीएनएसएस हैं संयुक्त राज्य अमेरिका की ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टम (जीपीएस) और रूसी संघ की ग्लोबल नेविगेशन सैटेलाइट सिस्टम (ग्लोनास)। दोनों प्रणालियों में 24 उपग्रह हैं। जीपीएस के उपग्रह पृथ्वी की सतह से लगभग 20,200 किमी की ऊंचाई पर तीन कक्षीय तलों में परिक्रमा करते हैं, जबकि ग्लोनास की कक्षा 19,100 किमी पर है। दो अन्य जीएनएसएस यूरोपीय संघ की यूरोपीय उपग्रह नेविगेशन प्रणाली (गैलिलियो) और चीन की बेईडू नेविगेशन उपग्रह प्रणाली हैं।

क्षेत्रीय स्तर पर, भारतीय क्षेत्रीय नौवहन उपग्रह प्रणाली (आईआरएनएसएस, जिसे नाविक भी कहा जाता है) और जापान की अर्ध-जेनिथ उपग्रह प्रणाली (क्यूजेडएसएस), साथ ही कई क्षेत्रीय संवर्द्धन प्रणालियाँ भी उपलब्ध हैं। आईआरएनएसएस को मुख्य रूप से हिंद महासागर के जलक्षेत्र में जहाजों के नौवहन में सहायता के लिए सटीक स्थिति सूचना सेवा प्रदान करने के लिए डिज़ाइन किया गया है। आईआरएनएसएस में 3 उपग्रह भूस्थिर कक्षा में 34, 83 और 132 डिग्री पूर्वी देशांतर पर और 4 उपग्रह भूतुल्यकालिक कक्षा में 29 डिग्री के झुकाव पर स्थित हैं, जिनका देशांतर 55 और 111 डिग्री पूर्वी अक्षांश पर एक दूसरे को काटता है।

2. जीपीएस की अवधारणाएँ:

जीपीएस एक सैटेलाइट-बेस्ड रेडियो नेविगेशन सिस्टम है जो दुनिया भर में हर मौसम में लगातार सही जगह की जानकारी, मूविंग रिसेवर की वेगोसिटी और समय देता है। पूरा सिस्टम अमेरिका डिपार्टमेंट ऑफ़ डिफेंस का है और वही इसे चलाता है। इसे मुख्य रूप से अमेरिका मिलिट्री इस्तेमाल के लिए बनाया गया था। लेकिन अब इसे ज्यादातर देशों में आम लोगों की कम्युनिटी में कई तरह के इस्तेमाल के साथ बड़े पैमाने पर इस्तेमाल किया जाता है। जीपीएस को तीन हिस्सों में बांटा जा सकता है (चित्र 1):

- अंतरिक्ष अनुभाग
- संचालन अनुभाग
- उपभोक्ता अनुभाग



चित्र 1: जीपीएस के अनुभाग



चित्र 2: जीपीएस उपग्रहों का समूह

(i) **अंतरिक्ष अनुभाग:** जीपीएस ग्रुप ने उपग्रहों को छह वृत्ताकार कक्षा 20,200 किमी की ऊंचाई पर है, जिसमें कम से कम 24 उपग्रह हैं, जिन्हें हाल ही में 30 या 31 उपग्रह तक बढ़ाया गया है (चित्र 2)। हर उपग्रह का वजन लगभग 2000 पाउंड है और यह 17 फीट चौड़ा है, जिसमें सौर पैनल्स को बढ़ाया गया है, जो उनकी 7.5 साल की अभिकल्पित जीवन से कहीं ज्यादा चलते हैं। छह कक्षाओं भौगोलिक विषुवत रेखा से 55° ऊपर झुके हुए हैं और 60° की दूरी पर हैं। उपग्रहों का कक्षीय अवधि 11 घंटे और 58 मिनट है, जो लगभग आधा नाक्षत्र दिवस है, जिसका मतलब है कि हर दिन उपग्रह लगभग दो पूरे अर्थ रिवर्स पूरे करते हैं। जीपीएस ने दो वाहक आवृत्ति संकेतों $L_1 = 1575.42$ मेगाहर्ट्ज (तरंग दैर्घ्य = 19.04 सेमी) और $L_2 = 1227.60$ मेगाहर्ट्ज (तरंग दैर्घ्य = 24.44 सेमी)। नवस्तर जीपीएस के आगे के विकास के तहत 2006 में एक दूसरा सिविलियन नागरिक संकेत L_2 सिविल (L_2C) शुरू किया गया था। L_5 नाम का तीसरा नया नागरिक संकेत, जीवन परिवहन की सुरक्षा और दूसरे अनुप्रयोगों का उच्च प्रदर्शन की बढ़ती मांग के लिए 1176.45 मेगाहर्ट्ज की वाहक आवृत्ति और 20.46 मेगाहर्ट्ज की बैंडविड्थ के साथ दिया गया है।

(ii) **संचालन अनुभाग:** जीपीएस का कंट्रोल सेगमेंट इसके सही ऑपरेशन के लिए जिम्मेदार है, जिसमें एक मास्टर नियंत्रण केंद्र, निगरानी केंद्र और ग्राउंड एंटेना होते हैं। मास्टर नियंत्रण केंद्र अमेरिका के कोलोराडो राज्य में ग्राइबर वायु सेना बेस पर है। उपग्रहों की चाल और स्थिति को केंद्र निगरानी और

ठीक करते हैं। इसके लिए निगरानी केंद्र से इकट्ठा किए गए माप का इस्तेमाल किया जाता है ताकि हर उपग्रहों के कक्षा और घड़ी के व्यवहार का अंदाजा लगाया जा सके। दुनिया भर में पाँच बेस स्टेशन हैं: एसेंशन आइलैंड (अटलांटिक ओशन), केप कैनावेरल, फ्लोरिडा, डिएगो गार्सिया (हिंद महासागर), हवाई और क्वाजालीन (दोनों प्रशांत महासागर में)। अभी, नेटवर्क में 16 स्टेशन हैं, जिनमें से 6 एयर फ़ोर्स के और 10 नेशनल जियोस्पेशियल-इंटेलिजेंस एजेंसी के हैं। किसी बड़ी खराबी की स्थिति में, दो बैकअप मास्टर कंट्रोल स्टेशन हैं, एक सनीवेल, कैलिफ़ोर्निया और दूसरा रोकविल, मैरीलैंड में। कंट्रोल सेगमेंट का काम यह पक्का करना है कि स्पेस सेगमेंट स्पेसिफिकेशन्स के अंदर काम कर रहा है और जहाँ जरूरी हो, एडजस्टमेंट करना है। कंट्रोल सेगमेंट और जीपीएस सैटेलाइट चार ग्राउंड स्टेशन एंटेना में से एक से S-बैंड अपलिक के जरिए बातचीत करते हैं।

(iii) **उपभोक्ता अनुभाग:** उपभोक्ता अनुभाग में पाँच मॉड्यूल होते हैं, जैसे एंटेना, रिसीवर, संकेत प्रक्रमन, आंकड़ा अभिसंस्करण क्षमताएँ, निवेश निर्गम उपकरण जैसे नियंत्रण प्रदर्शन इकाई, और एक बिजली की आपूर्ति। तीन अलग-अलग उपग्रहों से छद्म परास का इस्तेमाल एक साथ किसी स्थान का निर्देशांक पाने के लिए किया जाता है। यह किसी स्थान के निर्देशांक पाने के लिए नौपरिवहन समीकरण हल करता है। भूतल रिसीवर हर दिखने वाले उपग्रह से रेडियो संकेत लेते हैं और संकेत को रिसीवर तक पहुँचने में लगने वाले समय को मापते हैं। फिर दूरी की गणना की जाती है। असली दूरी पाने के लिए आयन मंडलीय और क्षोभ मंडलीय रेंज सुधार लागू करने की जरूरत होती है।

3. जीएनएसएस/जीपीएस माप में त्रुटियाँ:

जीपीएस माप में होने वाली त्रुटियाँ, जो अक्सर 5–15 मीटर तक होती हैं, वायुमंडलीय विलंब, उपग्रह त्रुटियाँ और रिसीवर की त्रुटियाँ की वजह से होती हैं। मुख्य वजहों में आयन मंडलीय और क्षोभ मंडलीय अपवर्तन, उपग्रह घड़ी त्रुटियाँ, इफेमेरिस त्रुटियाँ, सिग्नल बहु-पथ प्रतिबिंब, रिसीवर नॉइज़ और खराब उपग्रह ज्यामिति शामिल हैं।

(i) जीएनएसएस/जीपीएस माप में आयनमंडलीय त्रुटि:

आयन मंडल में, जीएनएसएस सिग्नल के वाहक चरण और संहिता पर काफ़ी असर पड़ता है। जीएनएसएस सिग्नल में कोड विलंब उपग्रह और रिसीवर [2] के बीच ज्यामितीय दूरी की तुलना में छद्म सीमा माप को प्रभावित करता है और विलंब की परिमाण सिग्नल पथ के साथ आयनमंडल में मौजूद कुल इलेक्ट्रॉन सामग्री (टीईसी) के सीधे आनुपातिक होती है। टीईसी को उपग्रह से रिसीवर तक इलेक्ट्रॉन घनत्व के समाकलन के रूप में परिभाषित किया गया है या दूसरे शब्दों में इसे 1 मीटर² अनुप्रस्थ काट क्षेत्र के एक बेलनाकार स्तंभ में मुक्त इलेक्ट्रॉन की संख्या के रूप में परिभाषित किया गया है।

टीईसी में बदलाव दिन के लोकल समय, महीने के दिनों (हर दिन के बदलाव), साल के महीने/मौसम, सौर चक्र के सालों का एक फलन है और इसलिए जीपीएस सिग्नल में आयनमंडलीय त्रुटि भी इन पैरामीटर्स के साथ बदलते रहते हैं। इस तरह जीएनएसएस/जीपीएस सिग्नल में आयनमंडलीय त्रुटि का इस्तेमाल टीईसी की गणना करने के लिए किया जाता है।

(ii) जीएनएसएस/जीपीएस सिग्नल में वायुमंडलीय त्रुटि:

एरोसोल, सूखी हवा (O_2 , N_2), पानी की भाप, और दूसरी गैसों वायुमंडल के अवयव के तौर पर जानी जाती हैं। क्षोभ मंडल में O_2 और N_2 मुख्य अवयव हैं जो जीपीएस सिग्नल पर असर डालते हैं और इन अवयव को सूखी गैस अवयव और जल वाष्प को गीले अवयव के तौर पर जाना जाता है। वायुमंडल में

जल वाष्प का एक स्थायी द्विध्रुवीय क्षण होता है और इसलिए यह क्षोभमंडलीय रेडियो अपवर्तक सूचकांक को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करता है। सामान्य स्थिति में द्विध्रुव बेतरतीब ढंग से वितरित होते हैं, लेकिन क्षोभमंडल में गुजरने पर रेडियो तरंग के चुंबकीय क्षेत्र के जवाब में द्विध्रुव का आंशिक संरेखण होता है। परिणामस्वरूप माध्यम का ध्रुवीकरण होता है जो क्षोभमंडलीय रेडियो अपवर्तक सूचकांक में योगदान देता है। अपवर्तक सूचकांक भिन्नता के कारण चरण और समूह वेग में परिवर्तन के परिणामस्वरूप कुल चरण और पथ की लंबाई में परिवर्तन होता है जिसका उपयोग क्षोभमंडल में मौजूद जल वाष्प का अनुमान लगाने के लिए किया जाता है [10]।

4. जीएनएसएस/जीपीएस का उपयोग करके आयनमंडलीय घटनाओं का अध्ययन:

(i) भू-चुंबकीय तूफान की प्रतिक्रिया का अध्ययन:

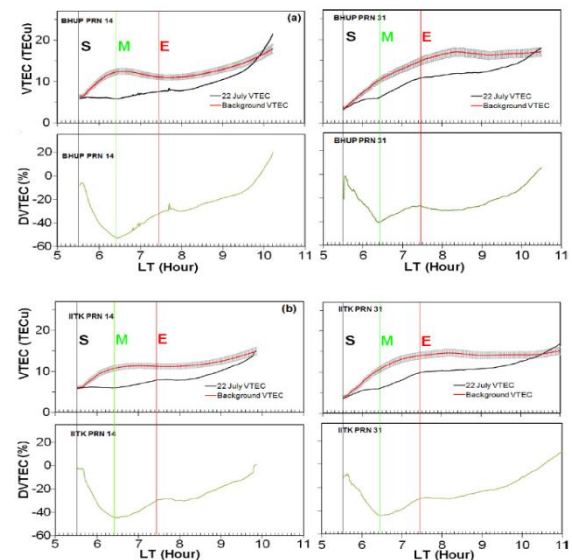
शांत दिन के प्रवृत्ति की तुलना में पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र में एक विघटनकारी परिवर्तन को भू-चुंबकीय तूफान के रूप में पहचाना जाता है। भू-चुंबकीय तूफान तब शुरू होते हैं जब सौर पवन आघात तरंग पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र से संपर्क करती है। सौर पवन का बढ़ा हुआ दाब पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र को दबाता है और इसके कारण चुंबकीय क्षेत्र में बहुत ज्यादा ऊर्जा का स्थानांतरण होती है। भू-चुंबकीय तूफानों को बताने के लिए अशांत तूफान समय सूचकांक (डीएसटी) अपनाया जाता है। भू-चुंबकीय तूफान को तीन मुख्य चरणों में विभाजित किया जाता है: (1) प्रारंभिक चरण (2) मुख्य चरण और (3) पुनर्प्राप्ति चरण। भू-चुंबकीय तूफान के समय के विद्युत क्षेत्र महत्वपूर्ण हैं क्योंकि वे कुछ घंटों से लेकर कई घंटों तक के अलग-अलग समय पैमाने पर प्लाज्मा की गतिशीलता और घनत्व वितरण को काफी हद तक संशोधित करते हैं [11]। भू-चुंबकीय तूफान के समय टीईसी में बढ़ोतरी 10 - 35 टीईसीयू के परिमाण की होती है। आम तौर पर, भू-चुंबकीय तूफानों के दौरान और बाद में टीईसी में बढ़ोतरी या कमी विद्युत क्षेत्र, तटस्थ हवा और लोकल विद्युत का गतिविज्ञान से जुड़ी होती है। भू-चुंबकीय तूफानों के दौरान आयनमंडलीय आयनीकरण वितरण में बहुत बड़े बदलाव होते हैं। आयनमंडलीय घनत्व में इतने बड़े, अचानक बदलाव ज़मीन और अंतरिक्ष में स्थिति निर्धारण और जीपीएस उपग्रह से नेविगेशन के लिए नुकसानदायक होते हैं।

(ii) सौर ज्वाला की प्रतिक्रिया का अध्ययन:

सौर ज्वाला कुछ ही मिनटों में सौर प्लाज्मा और प्रकाशीय विकिरण का विस्फोटक विमोचन है। सूर्य के धब्बे के पास चुंबकीय क्षेत्र अक्सर मुड़ता है, एक-दूसरे को काटता है और फिर से जुड़ता है और सौर ज्वाला पैदा करता है। सौर ज्वाला पर आयनमंडलीय प्रतिक्रिया पर अभी का नज़रिया तीन तरह का है। पहला, यह ईयूवी और एक्स-रे प्रवाह के बड़े हुए आयनीकरण पर है। दूसरा, यह पहले प्रभाव से पैदा हुए गतिकी से है, जिसमें संभावित विद्युत का गतिविज्ञान भी शामिल है। एक बड़े सौर ज्वाला के दौरान धूप वाले घंटों में विद्युत क्षेत्र कम होने का सुझाव दिया गया है। तीसरा तापमंडल पर है, तापमंडलीय प्रभाव के लिए, सौर ज्वाला के कारण बहुत ज्यादा तटस्थ घनत्व और तापमान में बदलाव होता है। सौर शीर्ष क्रोण का सौर ज्वाला पर तापमंडल प्रतिक्रिया पर एक अहम नियंत्रित प्रभाव होता है। सॉफ्ट एक्स-रे ई - क्षेत्र में आयनीकरण को कंट्रोल करता है, जबकि ईयूवी ~150 किमी से ऊपर आयनीकरण को कंट्रोल करता है [12]। इसलिए, सौर ज्वाला की लोकेशन टीईसी में तापमंडल-आयनमंडल प्रभाव को बदल देती है। आयनमंडल पर सौर ज्वाला का असर लिम्ब सौर ज्वालाएँ की तुलना में डिस्क केंद्र सौर ज्वालाएँ के लिए ज्यादा पाया गया है [13]।

(iii) सूर्य ग्रहण की प्रतिक्रिया का अध्ययन:

सूर्य ग्रहण तब होता है जब चंद्रमा, सूर्य और पृथ्वी के बीच से गुजरता है और चंद्रमा सूर्य को पूरी तरह या आंशिक रूप से ढक लेता है। सूर्य ग्रहण के दौरान सौर विकिरण कम हो जाता है जिससे आयनीकरण कम हो जाता है। इसलिए, ग्रहण के दिन प्लाज्मा की हानि दर, उत्पादन दर पर हावी होती है। सूर्य ग्रहण के दौरान आयनमंडलीय व्यवधान एकल आवृत्ति उपयोगकर्ता के लिए जीपीएस स्थिति निर्धारण में त्रुटियाँ प्रकट कर सकता है [14]। जीपीएस में मापन से सूर्य ग्रहण के दौरान आयनमंडल की बनावट में समय और जगह के हिसाब से होने वाले बदलावों को अध्ययन किया जा सकता है। यह देखा गया है कि 24 अक्टूबर, 1995 और 9 मार्च, 1997 को एशियाई इलाके में अलग-अलग अक्षांश पर हुए दो ग्रहण घटनाएँ के दौरान टीईसी कम हो गई थी [15]। टीईसी की कमी लगभग 7 टीईसीयू पाई गई और सूर्य ग्रहण की पूर्णता के लिए 0-30 मिनट की देरी देखी गई है। अध्ययन से पता चला है कि आंशिक ग्रहण शुरू होने के बाद टीईसी कम हो जाती है। टीईसी अधिकतम अस्पष्टता के समय से ~ 30 मिनट से 2 घंटे बाद न्यूनतम मान पर पहुँच जाती है। यह देरी ईआईए में प्रकाश रासायनिक प्रक्रिया और प्लाज्मा गतिकी के मिले-जुले असर की वजह से होती है। अध्ययन से पता चलता है कि एक बड़े एरिया में ग्रहण के दिन टीईसी में कमी आई है। भूमध्यरेखीय विसंगति के क्षेत्र में शांत स्थितियों के सापेक्ष टीईसी में कमी 40-50 % से अधिक बताया गया है [16]। चित्र 3 में दिखाया गया है शांत औसत वीटीईसी की तुलना में वीटीईसी में भिन्नता, और शांत औसत वीटीईसी की तुलना में वीटीईसी में प्रतिशत परिवर्तन जिसका अनुमान पूर्ण सूर्य ग्रहण की अवधि के दौरान पीआरएन 14 के लिए ~ 51% और पीआरएन 31 के लिए ~ 41% है [17]। चुने गए भारतीय स्टेशन वाराणसी (भौगोलिक अक्षांश 25°16' N, देशांतर 82°59' E) और कानपुर (भौगोलिक अक्षांश 26.28° N और देशांतर 80.2° E) हैं। पीआरएन 14 और 31 उन चुने हुए जीपीएस उपग्रहों को दर्शाते हैं, जिनके आँकड़ा इन दोनों स्टेशनों पर उपलब्ध हैं। पीआरएन 14 के संबंध में वीटीईसी में यह अधिक बदलाव इसलिए हो सकता है, क्योंकि सैटेलाइट सिग्नल का मार्ग पीआरएन 31 की तुलना में अस्पष्टता क्षेत्र से अधिक दूरी तक होकर गुजरता है [17]।



चित्र 3: शांत औसत वीटीईसी की तुलना में वीटीईसी में भिन्नता, और शांत औसत वीटीईसी की तुलना में वीटीईसी में प्रतिशत परिवर्तन जिसका अनुमान पूर्ण सूर्य ग्रहण की अवधि के दौरान पीआरएन 14 और 31 के डेटा से लगाया गया है, स्थान हैं: (a) वाराणसी, (b) कानपुर [17]।

सूर्य ग्रहण के दिन टीईसी में गुरुत्वाकर्षण तरंगों के सिग्नेचर की भी रिपोर्ट की गई है [18]। यह प्रस्तावित है कि गुरुत्वाकर्षण तरंगों के स्रोत तापमंडल में मौजूद हैं जहाँ आणविक ऑक्सीजन का गर्म होना शुरू होती है, समताप मंडल जहाँ ओजोन परत गर्म होती है [19], और क्षोभ मंडल जहाँ जल वाष्प आईआर अवशोषण और भू शीतलन होती है [20]। इस तरह, सूर्य ग्रहण के दौरान टीईसी का लेवल 15–30 मिनट की देरी से कम पाया जाता है। ग्रहण वाले दिन टीईसी पर गुरुत्वाकर्षण तरंगों की मौजूदगी देखी जाती है, जिनका समय 20–50 और 50–90 मिनट होता है।

(iv) भूकंपों की प्रतिक्रिया का अध्ययन:

भूकंप प्रकृति की सबसे डरावनी और विनाशकारी घटनाओं में से एक है, और इसके बाद के प्रभाव भी बहुत भयानक होते हैं। इतिहास में, भूकंपों ने कई लोगों की जान ली है और कई समुदायों को तबाह कर दिया है। पिछले 100 सालों के दौरान, हर साल औसतन लगभग 18 बड़े भूकंप (तीव्रता 7.0–7.9) आए हैं (<http://earthquake.usgs.gov>)। भूकंप की भविष्यवाणी का उद्देश्य उन संभावित रूप से खतरनाक इलाकों को समय से पहले चेतावनी देना है, ताकि लोग अपनी जान और माल के नुकसान को कम कर सकें। कई शोध पत्रों में भूकंप से पहले बिजली के क्षेत्र में होने वाली गड़बड़ियों का जिक्र किया गया है [21–23]। ज़मीन की सतह के पास से आयनमंडल में बिजली के क्षेत्र का असामान्य रूप से प्रवेश करने की समस्या का कोई सर्वमान्य समाधान अभी तक नहीं मिला है। मुख्य परिकल्पनाओं में से एक यह है कि पृथ्वी की पपड़ी की दरारों से निकलने वाली रेडॉन गैस, ज़मीन के पास की वायुमंडलीय गैसों का आयनीकरण कर देती है। यह प्रक्रिया वायुमंडल की सीमा परत की वायु चालकता को बदल देती है, और इस तरह वैश्विक विद्युत परिपथ में बदलाव लाती है [24]।

आजकल, आयनमंडल में देखे जाने वाले भूकंप के पूर्व-संकेतों की जाँच पर विशेष ध्यान दिया जा रहा है, क्योंकि ये पूर्व-संकेत बहुत कम समय के लिए होते हैं। आयनमंडल की ई - और एफ - परतों के घनत्व में होने वाले बदलावों को दर्शाने के लिए ज़मीन-आधारित और उपग्रह-आधारित मापों से प्राप्त डेटा का उपयोग किया गया है; भूकंपीय घटनाओं से पहले, भूकंप के केंद्र के ऊपर इन घनत्वों में वृद्धि या कमी हो सकती है [25]। हाल के अध्ययनों से पता चला है कि पूर्वगामी संकेत आयनमंडल की आयनीकरण सामग्री को संशोधित करते हैं, जो टीईसी में परिलक्षित होता है। ज़मीन-आधारित जीपीएस मापों से प्राप्त टीईसी डेटा का उपयोग करते हुए, भूकंपों से कुछ दिन पहले और बाद में टीईसी में होने वाले विक्षोभों की जानकारी विभिन्न शोध-पत्रों [26] में दी गई है। परिणामों से पता चला कि भूकंपों के कारण होने वाला आयनमंडलीय विक्षोभ, भूकंप के केंद्र से अवलोकन बिंदु की दूरी पर, और साथ ही भूकंप के केंद्र के सापेक्ष अवलोकन बिंदु की दिशा पर भी निर्भर करता है। उन्होंने वायुमंडलीय ओजोन में भी विक्षोभ की सूचना दी है। इस प्रकार, आयनमंडल और वायुमंडलीय ओजोन में भूकंप-जनित विक्षोभ, स्थलमंडल-वायुमंडल-आयनमंडल युग्म प्रक्रिया का समर्थन करता है [26]।

(v) तूफानों के प्रतिक्रिया का अध्ययन:

आंधी-तूफान बिजली पैदा करने वाले जनरेटर की तरह होते हैं, जो वैश्विक विद्युत सर्किट [27] में ऊपर की ओर धाराएँ प्रवाहित करते हैं और कुछ दसियों किलो एम्पीयर तक की अधिकतम धारा उत्पन्न करते हैं। तूफान से उत्पन्न धारा द्वारा पैदा हुआ विद्युत क्षेत्र $E \times B$ प्लाज़्मा ड्रिफ्ट को प्रभावित कर सकता है, जिससे आयनमंडल में प्लाज़्मा घनत्व का पुनर्वितरण होता है और परिणामस्वरूप इलेक्ट्रॉन घनत्व में गड़बड़ी पैदा होती है [28–30]। ऐसी रिपोर्टें आई हैं कि एक छोटे तूफान से जुड़ी विद्युत गतिविधि भी डी-क्षेत्र को प्रभावित करती है, जिससे इलेक्ट्रॉन गर्म हो जाते हैं और उसके बाद इलेक्ट्रॉन घनत्व कम

हो जाता है [31]। तूफानी गतिविधियों से उत्पन्न गुरुत्वाकर्षण तरंगों ऊपर की दिशा में फैलती हैं और आयनमंडल में ऊर्जा स्थानांतरित करती हैं; इस ऊर्जा को आयनमंडल के टीईसी में देखा जा सकता है। कुछ मामलों में, तूफानी गतिविधियाँ आयनमंडलीय प्लाज़्मा बुलबुले और सेन्टीलेशन भी उत्पन्न कर सकती हैं [28]। आयनमंडल में इलेक्ट्रॉन घनत्व वितरण में आंधी-तूफान के कारण होने वाले विक्षोभ की जानकारी हाल ही में कई शोधकर्ताओं द्वारा दी गई है [32–36]। टीईसी डेटा में आयनमंडल संबंधी विक्षोभ, बिजली गिरने के केंद्र से लगभग ~500 km और उससे भी अधिक दूरी तक देखा गया है।

(vi) चक्रवातों के प्रतिक्रिया का अध्ययन:

निचले वायुमंडल में मौसम-संबंधी कारणों से होने वाली कई घटनाएँ आयनमंडल में होने वाले विक्षोभ को भी प्रभावित कर सकती हैं, और यह आगे के शोध का एक विषय है। इन घटनाओं में गहरा उष्णकटिबंधीय संवहन, उष्णकटिबंधीय चक्रवात, टाइफून, बवंडर, गरज-चमक वाले तूफान, ऊपरी क्षोभमंडल जेट आदि शामिल हैं; ये सभी क्षोभमंडल में मौसम-संबंधी कारणों से उत्पन्न होने वाले कुछ विक्षोभ हैं, और इनसे आयनमंडल में विक्षोभ उत्पन्न होने की संभावना है। मौसम संबंधी मूल की उपर्युक्त विक्षोभों में से, उष्णकटिबंधीय चक्रवात सबसे शक्तिशाली संभावित स्रोतों में से एक हैं, जो वायुमंडल-आयनमंडल युग्म के माध्यम से आयनमंडल को प्रभावित करते हैं। उष्णकटिबंधीय चक्रवात हवा के एक समूह का निम्न-दबाव केंद्र के चारों ओर घूमने की प्रक्रिया है, जिसकी उत्पत्ति क्षोभमंडल के भूमध्यरेखीय क्षेत्र ($\pm 5^\circ$ और $\pm 20^\circ$ अक्षांश के बीच) में समुद्र के ऊपर होती है; और इसका मानव जीवन तथा संपत्ति, दोनों पर ही अत्यंत हानिकारक प्रभाव पड़ता है। उष्णकटिबंधीय चक्रवात आयनमंडल को नीचे से अलग-अलग तरीकों से प्रभावित कर सकते हैं। इनमें बादलों वाले वातावरण का बड़े पैमाने पर ऊर्ध्वाधर संवहन शामिल है, जिससे आवेशित पानी की बूंदों और एयरोसोल का ऊपर की ओर परिवहन होता है। इसके अलावा, गुरुत्वाकर्षण तरंगों का एक स्पेक्ट्रम भी उत्पन्न होता है, जो वातावरण-आयनमंडल विद्युत सर्किट को बाधित करता है; और यह आगे चलकर सैकड़ों किलोमीटर के क्षैतिज दायरे में एक बाहरी विद्युत धारा उत्पन्न करता है [37]। हाल के वर्षों में, उष्णकटिबंधीय चक्रवात के कारण आयनमंडल में होने वाले विक्षोभ की मौजूदगी दिखाने के लिए ज़मीन-आधारित जीपीएस- टीईसी मापों का उपयोग किया गया है [38–39]। उष्णकटिबंधीय चक्रवात के दौरान उत्पन्न होने वाली गुरुत्वाकर्षण तरंगों आयनमंडल में अनियमितताओं के उत्पन्न होने के लिए एक बीज का काम कर सकती हैं, जिससे आगे चलकर रेडियो सिंटिलेशन हो सकता है; हांगकांग के पास से गुजरने वाले उष्णकटिबंधीय चक्रवात टेम्बिन के मामले में ऐसी रिपोर्ट सामने आई है [39]।

5. निष्कर्ष:

जीएनएसएस/जीपीएस नेविगेशन के लिए एक आदर्श प्रणाली है, और वायुमंडल जिसमें आयनमंडल भी शामिल है, उपयोगकर्ता की स्थिति को सटीक रूप से निर्धारित करने में सबसे बड़ी बाधा है। नुटियों के स्रोत जीपीएस संकेतों के वायुमंडल/आयनमंडल में संचरण के दौरान उनके कला और समूह विलंब के रूप में उत्पन्न होते हैं। इस प्रकार, इन विलंबों की जानकारी से आयनमंडल का टीईसी और वायुमंडल में मौजूद जलवाष्प की मात्रा का पता लगाया जा सकता है; जिनका उपयोग आंधी-तूफान, चक्रवात, भूकंप, सूर्य ग्रहण, मानसून, जलवायु, संख्यात्मक मौसम पूर्वानुमान आदि से जुड़ी विभिन्न वायुमंडलीय और आयनमंडलीय घटनाओं के अध्ययन के लिए किया जाता है।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

- [1] B.W. Crowell, Y. Bock, D. Melgar, Real-time inversion of GPS data for finite fault modeling and rapid hazard assessment, *Geophys. Res. Letts.* 39 (2012), L09305. doi:10.1029/2012GL051318.
- [2] G. Guergana, J. Jones, J. Douša, G. Dick, S. de Haan, E. Pottiaux, O. Bock, R. Pacione, G. Elgered, H. Vedel, M. Bende, Review of the state of the art and future prospects of the ground-based GNSS meteorology in Europe, *Atmos. Meas. Tech.* 9 (2016) 5385–5406.
- [3] P. Segall, J.L. Davis, GPS applications for geodynamics and earthquake studies, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 25 (1997) 301–336.
- [4] P. Tregoning, T. van Dam, Atmospheric pressure loading corrections applied to GPS data at the observation level, *Geophys. Res. Letts.* 32 (2005) 153.
- [5] M. Bevis, S. Businger, A.H. Thomas, C. Rocken, A.A. Richard, R.H. Ware, GPS meteorology' remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system, *J. Geophys. Res.* 97 (D14) (1992) 15787–15801.
- [6] N. Jakowski, V. Wilken, S. Schlueter, S.M. Stankov, S. Heise, Ionospheric space weather effects monitored by simultaneous ground and space based GNSS signals, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* 67 (12) (2005) 1074–1084.
- [7] S. Kumar, Sarvesh Kumar, Equatorial ionospheric TEC and scintillations under the space weather events of 4–9 September 2017: M-class solar flares and a G4 geomagnetic storm, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* 209 (2020) 105421. doi:10.1016/j.jastp.2020.105421.
- [8] I. Zakharenkova, E. Astafyeva, I. Cherniak, GPS and GLONASS observations of large-scale traveling ionospheric disturbances during the 2015 St. Patrick's Day storm, *J. Geophys. Res. Space Phys.* 121 (12) (2016) 12–138.
- [9] D.M. Tralli, T.H. Dixon, S.A. Stephens, Effect of wet tropospheric path delays on estimations of geodetic baselines in the Gulf of California using Global Positioning System, *J. Geophys. Res.* 93 (1988) 6545–6557.
- [10] S. Kumar, A.K. Singh, A.K. Prasad, R.P. Singh, Variability of GPS derived water vapor and comparison with MODIS data over the Indo-Gangetic plains, *J. Phys., Chem. Earth* 55 (2013) 11–18.
- [11] B. Tsurutani, A. Mannucci, B. Iijima, M.A. Abdu, J.H.A. Sobral, A. Humberto, W. Gonzalez, F. Guarnieri, T. Tsuda, A. Saito, K. Yumoto, B. Fejer, T.J. FullerRowell, J. Kozyra, J.C. Foster, A. Coster, V.M. Vasylunas., Global dayside ionospheric uplift and enhancement associated with interplanetary electric field, *J. Geophys. Res.* 109 (2004) A08302, doi:10.1029/2003JA010342.
- [12] R. Zhang, L. Liu, H. Le, Y. Chen., Equatorial ionospheric electrodynamic during solar flares, *Geophys. Res. Lett.* 44 (2017) 4558–4565.
- [13] S.G. Sumod, T.K. Pant, An investigation of solar flare effects on equatorial ionosphere and thermosphere using co-ordinated measurements, *Earth, Planets Space*, 71 (2019) 125.
- [14] A. Krankowski, I.I. Shagimuratov, L.W. Baran, G.A. Yakimova, The effect of total solar eclipse of October 3, 2005, on the total electron content over Europe, *Adv. Space Res.* 41 (2008) 628–638.
- [15] H.F. Tsai, J.Y. Liu, Ionospheric total electron content response to solar eclipses, *J. Geophys. Res.* 104 (A6) (1999) 12657–12668.
- [16] J.Y. Liu, H.F. Tsai, M.Q. Chen, Ionospheric total electron content observed during the 24 October 1995 solar eclipse, *Adv. Space Res.* 24 (11) (1999) 1495–1498.
- [17] S. Kumar, A. K. Singh and R. P. Singh (2013) Ionospheric Response to Total Solar Eclipse of 22 July 2009 at different Indian Regions, *Annales Geophysicae*, 31, 1549–1558 doi:10.5194/angeo-31-1-2013
- [18] C.S. Zerefos, E. Gerasopoulos, I. Tsagouri, B.E. Psiloglou, A. Belehaki, T. Herekakis, A. Bais, S. Kazadzis, C. Eleftheratos, N. Kalivitis, N. Mihalopoulos, Evidence of gravity waves into the atmosphere during the March 2006 total solar eclipse, *Atmos. Chem. Phys.* 7 (2007) 4943–4951, doi:10.5194/acp-7-4943-2007.
- [19] C.S. Zerefos, D.S. Balis, C. Meleti, A.F. Bais, K. Tourpali, K. Kourtidis, K. Vanicek, F. Cappelani, U. Kaminski, T. Colombo, R. Stubi, L. Manea, P. Formenti, M.O. Andreae, Changes in surface solar UV irradiances and total ozone during the solar eclipse of 11 August, 1999, *J. Geophys. Res.* 105 (2000) 26463–26473.
- [20] G. Chimonas, C.O. Hines, Atmospheric gravity waves induced by a solar eclipse, *J. Geophys. Res.* 75 (1970) 5545–5551.
- [21] G. Kondo, The variation of the atmospheric electric field at the time of earthquake, *Memoirs Kakioka Magnetic Observatory, Kakioka, Japan* 13 (1968) 17–23.
- [22] V.M. Chmyrev, N.V. Isaev, S.V. Bilichenko, G.A. Stanev, Observation by space – borne detectors of electric fields and hydromagnetic waves in the ionosphere over an earthquake center, *Phys. Earth Planet. Int.* 57 (1989) 110–114.
- [23] S.A. Pulintsev, Strong earthquake prediction possibility with the help of topside sounding from satellites, *Adv. Space Res.* 21 (1998) 455–458 [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(97\)00880-6](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(97)00880-6).
- [24] S. Priyadarshi, S. Kumar, A.K. Singh, Ionospheric perturbations associated with two recent major earthquakes ($M > 5.0$), *Phys. Scr.* 84 (2011) 045901.
- [25] S. Kumar, A.K. Singh, Ionospheric precursors observed in TEC due to earthquake of Tamenglong on 3 January 2016, *Current Sci.* 113 (4) (2017) 790–795.
- [26] J.Y. Liu, Y.I. Chen, Y.J. Chuo, C.S. Chen, A statistical investigation of pre-earthquake ionospheric anomaly, *J. Geophys. Res.* (2006), doi:10.1029/2005JA011333.

- [27] E.A. Mareev, S.A. Yashunin, S.S. Davydenko, T.C. Marshall, M. Stolzenburg, C.R. Maggio, On the role of transient currents in the global electric circuit, *Geophys. Res. Lett.* 35 (15) (2008) L15810, doi: 10.1029/2008GL034554.
- [28] C.J. Davis, C.G. Johnson, Lightning-induced intensification of the ionospheric sporadic E layer, *Nature* 435 (2005) 799–801, <https://doi.org/10.1038/nature03638>.
- [29] C.J. Davis, K.-H. Lo, An enhancement of the ionospheric sporadic-E layer in response to negative polarity cloud-to-ground lightning, *Geophysical Res. Letters* 35 (2008) (2008) L05815, <https://doi.org/10.1029/2007GL031909>.
- [30] E.H. Lay, X.M. Shao, C.S. Carrano, Variation in total electron content above large thunderstorms, *Geophysical Res. Letters* 40 (2013) 1945–1949, <https://doi.org/10.1002/grl.50499>.
- [31] X.-M. Shao, E.H. Lay, A.R. Jacobson, Reduction of electron density in the night-time lower ionosphere in response to a thunderstorm, *Nat. Geosci.* 6 (2013) 29–33.
- [32] E.H. Lay, X. Shao, A.K. Kendrick, C.S. Carrano, Ionospheric acoustic and gravity waves associated with midlatitude thunderstorms, *J. Geophysical Res. Space Phys.* 120 (2015) 6010–6020, <https://doi.org/10.1002/2015JA021334>.
- [33] T.J. Immel, S.B. Mende, M.E. Hagan, P.M. Kintner, S.L. England, Evidence of tropospheric effects on the ionosphere, *EOS* 90 (2009) 69–70, <https://doi.org/10.1029/2009EO090001>.
- [34] C.G. Johnson, C.J. Davis, The location of lightning affecting the ionospheric sporadic-E layer as evidence for multiple enhancement mechanisms, *Geophysical Res. Letters* 33 (2006) 1–4, <https://doi.org/10.1029/2005GL025294>.
- [35] Kumar, V.V., Parkinson, M.L., Dyson, P.L., Burns, G.B., 2009a. The effects of thunderstorm-generated atmospheric gravity waves on mid-latitude F-region drifts. *J. Atmospheric Solar-Terrestrial Phys.* 71, 1904–1915. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2009.07.006>
- [36] S.L. Vadas, DC. Fritts, Thermospheric responses to gravity waves arising from mesoscale convective complexes, *J. Atmospheric Solar-Terrestrial Phys.* 66 (2004) 781–804, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2004.01.025>.
- [37] N.V. Isaev, V.M. Sorokin, O.N. Serebryakova, G.A. Stanev, A.K. Yaschenko, E.P. Trushkina, Electric field enhancement and disturbances of plasma density in the ionosphere above the zones of preparation and development of typhoons, Second scientific conference with international participation, Space, Ecology, Nanotechnology, Safety, Varna, Bulgaria (2006).
- [38] A. Dube, S. Kumar, R. Singh, A.K. Singh, Ionospheric perturbations induced by a Very Severe Cyclonic Storm: a case study of Phailin VSCS, *J. Geophys. Res. Space Physics (AGU)* 125 (2020) e2019JA027197.
- [39] Z. Yang, Z. Liu, Observational study of ionospheric irregularities and GPS scintillations associated with the 2012 tropical cyclone Tembin passing Hong Kong, *J. Geophys. Res. Space Phys.* 121 (2016) 4705–4717.



कृत्रिम बुद्धिमत्ता में उभरती प्रवृत्तियाँ: मशीन लर्निंग, डीप लर्निंग, जनरेटिव एआई और एजेंटिक सिस्टम

राकेश कुमार*

संगणक एवं अभियांत्रिकी विभाग, मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर, उ०प्र०, भारत-273010

लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- rkiitr@gmail.com

आलेख प्राप्त: २१ मार्च २०२६; अंतिम संशोधन ०४ अप्रैल २०२६; स्वीकृत: २२ अप्रैल २०२६

प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २८ अप्रैल २०२६

सारांश

यह शोध लेख उभरती हुई कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) तकनीकों—मशीन लर्निंग (ML), डीप लर्निंग (DL) तथा तीव्र गति से विकसित हो रही एजेंटिक एआई—का व्यापक अध्ययन प्रस्तुत करता है, जिसमें उनके मूल सिद्धांतों, विकास और वास्तविक जीवन में अनुप्रयोगों पर विशेष ध्यान दिया गया है। इस अध्ययन में यह दर्शाया गया है कि ये तकनीकें स्वास्थ्य सेवा, बैंकिंग, शिक्षा, परिवहन, ई-कॉमर्स और साइबर सुरक्षा जैसे विभिन्न क्षेत्रों में बुद्धिमान निर्णय-निर्माण, स्वचालन और दक्षता वृद्धि के माध्यम से कैसे क्रांतिकारी परिवर्तन ला रही हैं। इसके अतिरिक्त, लेख में जनरेटिव एआई की भूमिका तथा आधुनिक टूल्स और फ्रेमवर्क्स के साथ उसके एकीकरण का भी विश्लेषण किया गया है। स्वास्थ्य सेवा के क्षेत्र में एक विस्तृत केस स्टडी के माध्यम से यह प्रदर्शित किया गया है कि एआई-आधारित क्लिनिकल डॉक्यूमेंटेशन और निर्णय सहायता प्रणालियाँ सटीकता बढ़ाने, कार्यभार कम करने और मरीजों के परिणामों में सुधार करने में कितनी प्रभावी हैं। साथ ही, एआई के उपयोग से जुड़े प्रमुख लाभों, चुनौतियों और नैतिक पहलुओं—जैसे डेटा गोपनीयता, पक्षपात और सुरक्षा जोखिम—पर भी चर्चा की गई है। अंततः, यह अध्ययन एआई-आधारित प्रणालियों की भविष्य की संभावनाओं को रेखांकित करता है और स्मार्ट, स्वायत्त एवं कुशल डिजिटल पारिस्थितिकी तंत्र के निर्माण हेतु जिम्मेदार एवं नैतिक एआई विकास की आवश्यकता पर बल देता है।

सूचक शब्द- कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI), मशीन लर्निंग (ML), डीप लर्निंग (DL), जनरेटिव एआई, एजेंटिक एआई, बुद्धिमान प्रणालियाँ, न्यूरल नेटवर्क, प्राकृतिक भाषा प्रसंस्करण (NLP), कंप्यूटर विज्ञान, स्वचालन, निर्णय समर्थन प्रणालियाँ, एआई अनुप्रयोग



Emerging Trends in Artificial Intelligence: Machine Learning, Deep Learning, Generative AI, and Agentic Systems

Rakesh kumar*

Department of Computer Science & Engineering, Madan Mohan Malaviya University of Technology,
Gorakhpur, Uttar Pradesh, India – 273010
Corresponding author Email*: rkiitr@gmail.com

Received on: 31 march 2026; Final Revision: 02 April 2026, Accepted: 16 April 2026

Published Online First on: 28 April 2026

ABSTRACT

This research article presents a comprehensive study of emerging Artificial Intelligence (AI) technologies—specifically Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), and rapidly evolving Agentic AI—with a particular focus on their fundamental principles, development, and real-world applications. The study demonstrates how these technologies are driving revolutionary transformations across diverse sectors—such as healthcare, banking, education, transportation, e-commerce, and cybersecurity—by facilitating intelligent decision-making, automation, and enhanced efficiency. Furthermore, the article analyzes the role of Generative AI and its integration with modern tools and frameworks. Through a detailed case study within the healthcare sector, it is demonstrated how effective AI-based clinical documentation and decision-support systems are in enhancing accuracy, reducing workload, and improving patient outcomes. Additionally, the study discusses the key benefits, challenges, and ethical considerations associated with the use of AI—including data privacy, bias, and security risks. Ultimately, this study outlines the future prospects of AI-based systems and underscores the necessity of responsible and ethical AI development to foster the creation of smart, autonomous, and efficient digital ecosystems.

Keywords – Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), Generative AI, Agentic AI, Intelligent Systems, Neural Networks, Natural Language Processing (NLP), Computer Vision, Automation, Decision Support Systems, AI Applications

डॉ. राकेश कुमार 2015 से मदन मोहन मालवीय प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, गोरखपुर (यूपी), भारत में कंप्यूटर विज्ञान और इंजीनियरिंग विभाग में प्रोफेसर और प्रमुख हैं। उन्होंने 1990 में मदन मोहन मालवीय इंजीनियरिंग कॉलेज, गोरखपुर, यूपी, भारत से कंप्यूटर इंजीनियरिंग में बैचलर ऑफ इंजीनियरिंग की उपाधि प्राप्त की और 1994 में एसजीएस इंस्टीट्यूट ऑफ टेक्नोलॉजी एंड साइंस, इंदौर से कंप्यूटर इंजीनियरिंग में मास्टर ऑफ इंजीनियरिंग की उपाधि प्राप्त की। उन्होंने अपनी पीएच.डी. प्राप्त की। 2011 में भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान रूड़की से। मदन मोहन मालवीय इंजीनियरिंग कॉलेज, गोरखपुर में शामिल होने से पहले, उन्होंने हरकोर्ट बटलर टेक्नोलॉजिकल इंस्टीट्यूट, कानपुर और बुंदेलखंड इंस्टीट्यूट ऑफ इंजीनियरिंग एंड टेक्नोलॉजी, झांसी, यूपी, भारत में भी काम किया। उन्होंने विश्वविद्यालय अनुदान आयोग, नई दिल्ली द्वारा स्वीकृत एक प्रमुख शोध परियोजना और अखिल भारतीय तकनीकी शिक्षा परिषद, नई दिल्ली, भारत द्वारा स्वीकृत दो MODROBS परियोजनाओं को सफलतापूर्वक पूरा किया है। उन्हें 10-12 अगस्त, 2007 के दौरान बेंगलूर, भारत में आयोजित सूचना प्रसंस्करण पर अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलन (आईसीआईपी-2007) में सर्वश्रेष्ठ शोध पत्र का पुरस्कार भी मिला। प्रोफेसर कुमार ने वर्ष 2023 के लिए स्टैनफोर्ड विश्वविद्यालय द्वारा प्रकाशित प्रतिष्ठित शीर्ष 2% सबसे प्रभावशाली वैज्ञानिकों की सूची में एक प्रतिष्ठित स्थान अर्जित किया। उन्होंने 15 पीएच.डी. का पर्यवेक्षण किया है। प्रोफेसर कुमार वर्तमान में कई एम.टेक. और पीएच.डी. छात्र का मार्गदर्शन कर रहे हैं,



उन्होंने विभिन्न राष्ट्रीय और अंतर्राष्ट्रीय पत्रिकाओं और उच्च प्रतिष्ठा की सम्मेलन कार्यवाही में 125 से अधिक शोध पत्र प्रकाशित किए हैं और कई राष्ट्रीय और अंतर्राष्ट्रीय पत्रिकाओं के संपादकीय बोर्डों पर कार्य किया है, और कई राष्ट्रीय और अंतर्राष्ट्रीय पत्रिकाओं के संपादकीय बोर्डों पर कार्य किया है। वह इंस्टीट्यूट ऑफ इलेक्ट्रिकल एंड इलेक्ट्रॉनिक्स इंजीनियर्स (आईईईई) के सदस्य और कंप्यूटर सोसाइटी ऑफ इंडिया (सीएसआई) और इंडियन सोसाइटी फॉर टेक्निकल एजुकेशन (आईएसीटीई) के आजीवन सदस्य हैं। वह इंस्टीट्यूशन ऑफ इलेक्ट्रॉनिक्स एंड टेलीकम्युनिकेशन इंजीनियर्स (IETE) और इंस्टीट्यूशन ऑफ इंजीनियर्स (इंडिया) के फेलो और इंटरनेशनल एसोसिएशन ऑफ इंजीनियर्स (IAENG) के सदस्य भी हैं। उन्होंने प्रतिष्ठित अंतर्राष्ट्रीय पत्रिकाओं के लिए कई शोध लेखों की समीक्षा की है और अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलनों में सत्रों की अध्यक्षता करने के अलावा, कई अंतर्राष्ट्रीय सम्मेलनों के लिए तकनीकी कार्यक्रम समिति के सदस्य के रूप में भी काम किया है। उनकी मुख्य शोध रुचियों में आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस, कंप्यूटिंग, इंटरनेट ऑफ थिंग्स (IoT), वायरलेस सेंसर नेटवर्क, नेटवर्क सुरक्षा, मशीन लर्निंग और डेटा एनालिटिक्स, क्लाउड कंप्यूटिंग और इमेज प्रोसेसिंग शामिल हैं।

1. प्रस्तावना

21वीं सदी को डिजिटल और बुद्धिमान तकनीकों का युग कहा जा सकता है। सूचना प्रौद्योगिकी, इंटरनेट, क्लाउड कम्प्यूटिंग और बिग डेटा के साथ-साथ कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) ने विभिन्न क्षेत्रों में क्रांतिकारी परिवर्तन किए हैं। आज AI आधारित प्रणालियाँ स्वास्थ्य सेवा, शिक्षा, बैंकिंग, कृषि, परिवहन, ई-कॉमर्स और स्मार्ट शहरों में महत्वपूर्ण भूमिका निभा रही हैं। [1]

कृत्रिम बुद्धिमत्ता का मुख्य उद्देश्य ऐसी मशीनों और प्रणालियों का विकास करना है जो मानव बुद्धि की तरह सीख सकें, निर्णय ले सकें और समस्याओं का समाधान कर सकें। कृत्रिम बुद्धिमत्ता की प्रमुख शाखाओं में मशीन लर्निंग (ML) और डीप लर्निंग (DL) शामिल हैं, जो डेटा से पैटर्न सीखकर भविष्यवाणी और निर्णय लेने में सक्षम होते हैं। हाल के वर्षों में एजेंटिक एआई नामक नई अवधारणा उभरकर सामने आई है, जिसमें AI प्रणाली केवल उत्तर देने तक सीमित नहीं रहती बल्कि लक्ष्य निर्धारित करके स्वयं निर्णय लेकर कार्य भी कर सकती है। ऐसे सिस्टम जटिल कार्यों को स्वतः पूरा कर सकते हैं और निरंतर सीखते हुए अपनी कार्यक्षमता बढ़ाते हैं।

इन तकनीकों के कारण सेवा क्षेत्र में दक्षता, गति और गुणवत्ता में उल्लेखनीय सुधार हुआ है। इस शोध लेख में एआई, एमएल, डीएल और एजेंटिक एआई की अवधारणाओं, उनके वास्तविक जीवन अनुप्रयोगों और विभिन्न कृत्रिम बुद्धिमत्ता टूल्स के उपयोग का विस्तृत अध्ययन प्रस्तुत किया गया है।

2. कृत्रिम बुद्धिमत्ता

कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) वह तकनीक है जिसमें मशीनों को मानव बुद्धि का अनुकरण करने के लिए सक्षम बनाया जाता है, ताकि वे सीखने, तर्क करने, धारणा तथा निर्णय लेने जैसे कार्य कर सकें। तालिका-1 में कृत्रिम बुद्धिमत्ता के विभिन्न कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) वह तकनीक है जिसमें मशीनों को मानव बुद्धि का अनुकरण करने के लिए सक्षम बनाया जाता है, ताकि वे सीखने, तर्क करने, धारणा तथा निर्णय लेने जैसे कार्य कर सकें। तालिका-1 में कृत्रिम बुद्धिमत्ता के विभिन्न विकासात्मक युगों, उनकी प्रमुख प्रगतियों तथा उदाहरणों का संक्षिप्त विवरण प्रस्तुत किया गया है। [6]

तालिका-1: कृत्रिम बुद्धिमत्ता के विकास का कालानुक्रमिक विवरण [2]

युग	मुख्य विकास	उदाहरण
1950-1980	सांकेतिक AI (Symbolic AI)	विशेषज्ञ प्रणालियाँ (Expert Systems)
1980-2000	मशीन लर्निंग (Machine Learning)	निर्णय वृक्ष (Decision Trees)
2000-2015	डीप लर्निंग (Deep Learning)	CNN, RNN
2015-वर्तमान	जनरेटिव AI (Generative AI)	LLMs, डिफ्यूजन मॉडल्स

2.1 कृत्रिम बुद्धिमत्ता के प्रमुख क्षेत्र

- प्राकृतिक भाषा प्रसंस्करण (NLP)
- कंप्यूटर विज्ञान
- रोबोटिक्स
- विशेषज्ञ प्रणालियाँ
- अनुशंसा प्रणालियाँ

AI का उद्देश्य मानव कार्यों को स्वचालित बनाना और सेवाओं की गुणवत्ता को बेहतर बनाना है।

3. मशीन लर्निंग

मशीन लर्निंग, कृत्रिम बुद्धिमत्ता की एक महत्वपूर्ण शाखा है जिसमें कंप्यूटर सिस्टम डेटा से सीखते हैं और अनुभव के आधार पर अपनी कार्यक्षमता सुधारते हैं।

मशीन लर्निंग के प्रकार

(i) सुपरवाइज्ड लर्निंग

इसमें मॉडल को लेबल युक्त डेटा दिया जाता है।

उदाहरण:

- स्पैम पहचान
- क्रेडिट स्कोरिंग

(ii) अनसुपरवाइज्ड लर्निंग

इसमें बिना लेबल डेटा के पैटर्न खोजे जाते हैं।

उदाहरण:

- ग्राहक विभाजन
- बाजार टोकरी विश्लेषण

(iii) रिइन्फोर्समेंट लर्निंग

इसमें सिस्टम प्रयोग और त्रुटि से सीखता है।

उदाहरण:

- गेम एआई
- रोबोटिक्स नियंत्रण

मशीन लर्निंग का उपयोग भविष्यवाणी, वर्गीकरण और निर्णय समर्थन प्रणाली में किया जाता है।

4. डीप लर्निंग

डीप लर्निंग, मशीन लर्निंग का उन्नत रूप है जिसमें कृत्रिम न्यूरल नेटवर्क का उपयोग जाता किया है। यह मानव मस्तिष्क की कार्यप्रणाली से प्रेरित है। [7]

(i) डीप लर्निंग के प्रमुख मॉडल

- कन्वोल्यूशनल न्यूरल नेटवर्क (CNN)
- रिकरेंट न्यूरल नेटवर्क (RNN)
- लॉन्ग शॉर्ट टर्म मेमोरी (LSTM)
- ट्रांसफॉर्मर मॉडल

(ii) डीप लर्निंग के उपयोग

- छवि पहचान
- वाक् पहचान
- स्वचालित (सेल्फ-ड्राइविंग) कारें
- चिकित्सा छवि विश्लेषण
- भाषा अनुवाद

डीप लर्निंग बड़े डेटा और उच्च कंप्यूटिंग क्षमता के कारण अत्यधिक प्रभावी बन चुका है।

5. एजेंटिक एआई

एजेंटिक एआई, कृत्रिम बुद्धिमत्ता का नवीनतम विकास है जिसमें AI सिस्टम स्वायत्त रूप से लक्ष्य निर्धारित करके कार्य कर सकता है। यह केवल निर्देशों का पालन नहीं करता बल्कि योजना बनाता है, निर्णय लेता है और विभिन्न उपकरणों का उपयोग करके कार्य पूर्ण करता है। [4,5]

5.1 एजेंटिक एआई की विशेषताएँ

- स्वायत्त निर्णय लेने की क्षमता
- बहु-चरणीय योजना बनाना
- निरंतर सीखने की क्षमता
- उपकरणों के साथ एकीकरण
- लक्ष्य-उन्मुख कार्य निष्पादन

5.2 एजेंटिक एआई का कार्य सिद्धांत

- लक्ष्य की पहचान
- योजना बनाना
- उपकरणों का चयन
- कार्यान्वयन
- प्रतिक्रिया एवं सीखना

इस प्रकार एजेंटिक एआई जटिल कार्यों को स्वचालित रूप से पूरा कर सकता है।

6. जनरेटिव एआई

जनरेटिव एआई ऐसे मशीन लर्निंग मॉडल को संदर्भित करता है जो नए प्रकार की सामग्री (content) उत्पन्न (generate) करने में सक्षम होते हैं, जैसे:

- टेक्स्ट
- चित्र
- संगीत
- कोड
- वीडियो
- सिंथेटिक डेटा

उदाहरण: तालिका-II में दिया गया है।

तालिका-II: विभिन्न इनपुट के आधार पर AI आउटपुट के प्रकार

इनपुट	उत्पन्न आउटपुट
टेक्स्ट प्रॉम्प्ट	लेख
टेक्स्ट प्रॉम्प्ट	चित्र
स्केच (Sketch)	फोटो
कोड विवरण	प्रोग्राम

6.1 लोकप्रिय टूल्स

तालिका-III: प्रमुख AI टूल्स और उनके उद्देश्य

टूल	उद्देश्य
ChatGPT	टेक्स्ट जनरेशन
DALL-E	इमेज जनरेशन
Midjourney	AI आर्ट
GitHub Copilot	कोड जनरेशन
Runway ML	वीडियो जनरेशन

6.2 जनरेटिव मॉडल्स का विकास

तालिका-IV: जनरेटिव AI मॉडल्स का विकास: प्रकार, वर्ष और योगदान

मॉडल प्रकार	वर्ष	योगदान
हिडन मार्कोव मॉडल (Hidden Markov Models)	1970s	प्रारंभिक अनुक्रम निर्माण
वेरिएशनल ऑटोएन्कोडर्स (Variational Autoencoders)	2013	प्रायिकता आधारित जनरेशन
जनरेटिव एडवर्सरियल नेटवर्क (GANs)	2014	उच्च गुणवत्ता वाली इमेज
ट्रांसफॉर्मर्स (Transformers)	2017	भाषा क्रांति
डिफ्यूजन मॉडल्स (Diffusion Models)	2020	इमेज जनरेशन

महत्वपूर्ण माइलस्टोन

Attention Is All You Need

- इस शोध पत्र में ट्रांसफॉर्मर आर्किटेक्चर प्रस्तुत किया गया
- यही तकनीक आज के आधुनिक LLMs (Large Language Models) की आधारशिला है [22]

7. वास्तविक जीवन में एआई, एमएल, डीएल और एजेंटिक एआई के अनुप्रयोग

7.1 स्वास्थ्य सेवा

AI आधारित प्रणालियाँ रोगों की पहचान, चिकित्सा योजना और रोगी निगरानी में अत्यंत उपयोगी हैं।

उपयोग

- चिकित्सीय छवि विश्लेषण
- रोग पूर्वानुमान
- दवा खोज एवं विकास
- रोगी निगरानी

उदाहरण के लिए AI सिस्टम रोगी डेटा का विश्लेषण करके डॉक्टरों को बेहतर उपचार सुझाव दे सकते हैं।

7.2 बैंकिंग और वित्त

AI और ML बैंकिंग सेवाओं को अधिक सुरक्षित और कुशल बनाते हैं [18,19]

उपयोग

- धोखाधड़ी पहचान
- क्रेडिट स्कोरिंग
- एल्गोरिदमिक ट्रेडिंग
- जोखिम प्रबंधन

AI सिस्टम लाखों लेन-देन का विश्लेषण करके संदिग्ध गतिविधियों की पहचान कर सकते हैं।

7.3 शिक्षा

AI आधारित शिक्षा प्रणाली छात्रों को व्यक्तिगत सीखने का अनुभव प्रदान करती है।

उपयोग

- बुद्धिमान शिक्षण प्रणालियाँ
- अनुकूलन योग्य शिक्षण प्लेटफॉर्म
- स्वचालित मूल्यांकन
- वर्चुअल कक्षाएँ

Agentic AI आधारित सिस्टम छात्रों की प्रगति का विश्लेषण करके अध्ययन सामग्री को उनके अनुसार अनुकूलित कर सकते हैं।

7.4 परिवहन और स्मार्ट मोबिलिटी

AI आधारित स्वचालित वाहन परिवहन क्षेत्र में क्रांतिकारी बदलाव ला रहे हैं।

उपयोग

- स्वचालित संचालित वाहन
- यातायात पूर्वानुमान
- मार्ग अनुकूलन
- स्मार्ट लॉजिस्टिक्स

AI सिस्टम वास्तविक समय के डेटा का विश्लेषण करके सुरक्षित और तेज यात्रा सुनिश्चित करते हैं।

7.5 ई-कॉमर्स और रिटेल

AI आधारित सिस्टम ग्राहकों की पसंद का विश्लेषण करके उत्पाद सुझाव देते हैं।

उपयोग

- सिफारिश प्रणालियाँ
- ग्राहक व्यवहार विश्लेषण
- सूची प्रबंधन

- चैटबॉट्स

AI सिस्टम ग्राहक अनुभव को बेहतर बनाते हैं और बिक्री बढ़ाने में मदद करते हैं।

7.6 साइबर सुरक्षा

AI आधारित सुरक्षा प्रणाली नेटवर्क में असामान्य गतिविधियों की पहचान करके साइबर हमलों को रोक सकती है। [21]

उपयोग

- खतरा पहचान
- मैलवेयर विश्लेषण
- घुसपैठ पहचान

एआई एजेंट स्वचालित रूप से सुरक्षा खतरे पहचानकर प्रतिक्रिया भी दे सकते हैं।

8. विभिन्न एआई टूल्स और उनके उपयोग के मामले

आज कई एआई टूल्स उपलब्ध हैं जो शोध, शिक्षा और उद्योग में उपयोग किए जाते हैं।

8.1 चैटजीपीटी (ChatGPT) [16]

उपयोग

- सामग्री निर्माण
- अनुसंधान सहायता
- प्रोग्रामिंग सहायता
- ग्राहक सहायता

8.2 टेंसरफ्लो (TensorFlow) [13]

गूगल द्वारा विकसित डीप लर्निंग फ्रेमवर्क

उपयोग

- छवि पहचान
- न्यूरोल नेटवर्क प्रशिक्षण
- एआई मॉडल परिनियोजन

8.3 पाइटॉर्च (PyTorch) [14]

डीप लर्निंग अनुसंधान के लिए लोकप्रिय फ्रेमवर्क

उपयोग

- प्राकृतिक भाषा संसाधन मॉडल
- कंप्यूटर विज्ञान
- अनुसंधान प्रोटोटाइप

8.4 साइ-किट लर्न (Scikit-Learn) [15]

मशीन लर्निंग लाइब्रेरी

उपयोग

- वर्गीकरण
- प्रतिगमन
- समूहीकरण

8.5 आईबीएम वॉटसन (IBM Watson) [12]

एआई आधारित एंटरप्राइज प्लेटफॉर्म

उपयोग

- स्वास्थ्य सेवा विश्लेषण
- ग्राहक सेवा स्वचालन
- डेटा विश्लेषण

8.6 एआई आधारित कोडिंग सहायक

उपयोग

- कोड जनरेशन
- डिबगिंग
- सॉफ्टवेयर विकास स्वचालन

9. एआई के लाभ

- कार्यों का स्वचालन
- समय और लागत की बचत
- सटीक निर्णय
- सेवा गुणवत्ता में सुधार
- उत्पादकता में वृद्धि

10. केस स्टडी: स्वास्थ्य सेवा में जनरेटिव AI

शीर्षक: जनरेटिव AI आधारित क्लिनिकल डॉक्यूमेंटेशन एवं निर्णय सहायता प्रणाली

विश्वभर की स्वास्थ्य सेवाओं में निम्न समस्याएँ देखी जाती हैं [2]

- डॉक्टरों पर अत्यधिक प्रशासनिक कार्यभार
- क्लिनिकल डॉक्यूमेंटेशन में अधिक समय
- थकान के कारण चिकित्सीय त्रुटियों का जोखिम
- मरीजों के साथ कम समय

अध्ययनों के अनुसार, चिकित्सक उपचार की तुलना में अधिक समय दस्तावेजीकरण में व्यतीत करते हैं, जिससे कार्यक्षमता घटती है।

उद्देश्य:

एक ऐसी जनरेटिव AI आधारित प्रणाली विकसित करना जो:

- स्वचालित रूप से क्लिनिकल नोट्स तैयार करे
- निदान (Diagnosis) में सहायता करे
- मरीज सहभागिता बढ़ाए
- डॉक्टरों का कार्यभार कम करे

तालिका-V: जनरेटिव प्रणाली संरचना

घटक	विवरण
डेटा इनपुट	डॉक्टर-मरीज वार्तालाप (आवाज़/टेक्स्ट)
स्पीच रिकग्निशन	आवाज़ को टेक्स्ट में बदलना
NLP इंजन	चिकित्सा संबंधी जानकारी निकालना
जनरेटिव AI मॉडल	रिपोर्ट तैयार करना
EHR इंटीग्रेशन	अस्पताल प्रणाली में डेटा संग्रह

कार्यप्रणाली**चरणबद्ध प्रक्रिया**

- डॉक्टर और मरीज के बीच वार्तालाप
- AI सिस्टम द्वारा रिकॉर्डिंग और ट्रांसक्रिप्शन
- NLP द्वारा मुख्य जानकारी निकालना:
 - लक्षण
 - चिकित्सा इतिहास
 - संभावित निदान
- जनरेटिव AI द्वारा रिपोर्ट तैयार करना:
 - SOAP नोट्स (Subjective, Objective, Assessment, Plan)
- डॉक्टर द्वारा समीक्षा और अनुमोदन

वास्तविक उपयोग**AI आधारित क्लिनिकल डॉक्यूमेंटेशन**

तालिका-VI: स्वास्थ्य सेवाओं में AI के उपयोग से पहले और बाद का तुलनात्मक विश्लेषण

पैरामीटर	AI से पहले	AI के बाद
डॉक्यूमेंटेशन समय	15-20 मिनट	5-7 मिनट
त्रुटि दर	मध्यम	काफी कम
डॉक्टर तनाव	अधिक	कम
मरीज के साथ समय	कम	अधिक

विस्तारित उपयोग: रोग जोखिम भविष्यवाणी**उदाहरण: COVID-19 जोखिम मूल्यांकन**

तालिका-VII: स्वास्थ्य जोखिम आकलन हेतु AI प्रणाली की प्रमुख विशेषताएँ

विशेषता	विवरण
इनपुट	मरीज के लक्षण
मॉडल	फाइन-ट्यून LLM
आउटपुट	जोखिम स्कोर + व्याख्या
इंटरफेस	चैटबॉट

परिणाम

- सीमित डेटा में भी बेहतर सटीकता
- वास्तविक समय में संवाद
- स्पष्ट और व्याख्यात्मक परिणाम

केस: दवा खोज**उदाहरण: AI आधारित दवा विकास**

तालिका-VIII: दवा विकास में पारंपरिक एवं AI आधारित विधियों का तुलनात्मक विश्लेषण

पहलू	पारंपरिक विधि	AI आधारित विधि
समय	4-5 वर्ष	~18 महीने
लागत	बहुत अधिक	कम
प्रक्रिया	प्रयोगशाला आधारित	AI सिमुलेशन आधारित

केस: मेडिकल इमेजिंग एवं निदान

तालिका-IX: चिकित्सा इमेजिंग में AI प्रणालियों के कार्य एवं प्रभाव

सिस्टम	कार्य	प्रभाव
AI-Rad Companion	CT/MRI विश्लेषण	तेज निदान
GE Edison	MRI सुधार	स्कैन समय कम
Aidoc	रियल-टाइम अलर्ट	कार्यक्षमता में सुधार

जनरेटिव AI के लाभ

तालिका-X: स्वास्थ्य सेवाओं में AI के लाभ एवं उनके प्रभाव

लाभ	प्रभाव
स्वचालन	कार्यभार में कमी
व्यक्तिगत उपचार	बेहतर परिणाम
सटीकता	बेहतर निदान
दक्षता	तेज सेवा
लागत में कमी	आर्थिक लाभ

चुनौतियाँ

तालिका-XI: स्वास्थ्य सेवाओं में AI के उपयोग की प्रमुख चुनौतियाँ

चुनौती	विवरण
डेटा गोपनीयता	मरीज डेटा सुरक्षा
AI में पक्षपात	गलत निर्णय की संभावना
नियामक मुद्दे	कानूनी बाधाएँ
व्याख्यात्मकता	ब्लैक-बॉक्स समस्या
विश्वसनीयता	गलत जानकारी (hallucination)

नैतिक पहलू

- मरीज की गोपनीयता
- AI निर्णयों में पारदर्शिता
- मानव निगरानी (Human-in-the-loop)
- जिम्मेदार AI उपयोग

भविष्य की दिशा

- प्रिसिजन मेडिसिन (Precision Medicine)
- जीनोमिक्स और वेयरेबल डिवाइसेस का एकीकरण
- पूर्णतः स्वचालित क्लिनिकल सहायक
- महामारी पूर्वानुमान प्रणाली

निष्कर्ष

जनेरेटिव AI स्वास्थ्य सेवा में क्रांतिकारी परिवर्तन ला रहा है:

- प्रशासनिक कार्य कम करना
- निदान सटीक बनाना
- दवा खोज को तेज करना
- मरीजों के परिणाम बेहतर करना

यह डॉक्टरों का स्थान नहीं लेता, बल्कि उन्हें सशक्त करता है। जनेरेटिव AI स्वास्थ्य सेवा को “**Reactive** → **Predictive** → **Personalized**” दिशा में बदल रहा है।

AI की चुनौतियाँ [17]

AI के कई लाभ हैं लेकिन कुछ चुनौतियाँ भी हैं।

- डेटा गोपनीयता
- नैतिक मुद्दे
- रोजगार पर प्रभाव
- सुरक्षा जोखिम
- एल्गोरिथमिक bias

इन चुनौतियों का समाधान जिम्मेदार कृत्रिम बुद्धिमत्ता विकास से संभव है।

11. भविष्य की संभावनाएँ

भविष्य में कृत्रिम बुद्धिमत्ता, मशीन लर्निंग, डीप लर्निंग और एजेंटिक एआई निम्नलिखित क्षेत्रों में महत्वपूर्ण भूमिका निभाएंगे:

- स्मार्ट शहर
- स्वायत्त प्रणालियाँ
- व्यक्तिगत स्वास्थ्य सेवाएँ
- बुद्धिमान शिक्षा
- जलवायु परिवर्तन समाधान

कृत्रिम बुद्धिमत्ता आधारित प्रणालियाँ मानव जीवन को अधिक सुविधाजनक और कुशल बनाएंगी।

12. भारतीय परिप्रेक्ष्य में एआई का विकास, चुनौतियाँ एवं नीतिगत विचार

12.1 एआई का तुलनात्मक विकास: भारत बनाम वैश्विक परिदृश्य

हाल के वर्षों में भारत में कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) का विकास तीव्र गति से हुआ है, जिसका प्रमुख कारण डिजिटलकरण में वृद्धि, "डिजिटल इंडिया" जैसी सरकारी पहलें तथा डेटा-आधारित सेवाओं का विस्तार है। वैश्विक परिदृश्य में जहाँ संयुक्त राज्य अमेरिका और चीन उन्नत एआई अनुसंधान, अवसंरचना तथा बड़े पैमाने पर कार्यान्वयन में अग्रणी हैं, वहीं भारत एक मजबूत अपनाने वाले (adopter) और अनुप्रयोग-उन्मुख केंद्र के रूप में उभर रहा है। जहाँ वैश्विक अग्रणी देश बड़े भाषा मॉडल और स्वायत्त प्रणालियों जैसे

अत्याधुनिक नवाचारों पर ध्यान केंद्रित कर रहे हैं, वहीं भारत का विकास स्वास्थ्य सेवा, कृषि, शिक्षा और फिनटेक जैसे क्षेत्रों में व्यावहारिक एवं स्केलेबल समाधानों पर केंद्रित है। यह तुलनात्मक विश्लेषण दर्शाता है कि भारत समावेशी विकास के लिए एआई का प्रभावी उपयोग कर सकता है, हालांकि अनुसंधान वित्तपोषण, उच्च-प्रदर्शन कंप्यूटिंग अवसंरचना तथा कुशल मानव संसाधन की उपलब्धता में अभी भी कुछ अंतर विद्यमान हैं।

12.2 भारतीय परिदृश्य में चुनौतियाँ एवं संभावित जोखिम

इसके अनेक लाभों के बावजूद, एआई को अपनाने से कई चुनौतियाँ और संभावित जोखिम भी उत्पन्न होते हैं, विशेषकर भारतीय संदर्भ में। डेटा गोपनीयता, एल्गोरिथमिक पक्षपात (bias) तथा पारदर्शिता की कमी जैसे मुद्दे भारत जैसे विविध और विशाल जनसंख्या वाले देश में अधिक प्रभाव डाल सकते हैं। यदि एआई प्रणालियाँ पक्षपाती या अपर्याप्त डेटा पर प्रशिक्षित होती हैं, तो भर्ती, ऋण वितरण, कानून प्रवर्तन और स्वास्थ्य सेवा जैसे महत्वपूर्ण क्षेत्रों में अनुचित परिणाम सामने आ सकते हैं। इसके अतिरिक्त, बड़े पैमाने पर स्वचालन से रोजगार पर प्रभाव पड़ सकता है, विशेषकर उन क्षेत्रों में जहाँ कम-कुशल या दोहराए जाने वाले कार्यों में बड़ी संख्या में लोग कार्यरत हैं। शहरी और ग्रामीण क्षेत्रों के बीच डिजिटल विभाजन भी बढ़ सकता है, यदि एआई आधारित तकनीकों की पहुँच समान रूप से सुनिश्चित नहीं की गई।

12.3 संतुलित एवं उत्तरदायी नीतिगत दृष्टिकोण की आवश्यकता

अतः राष्ट्रीय नीतियों और विकास ढाँचों में एआई के एकीकरण के लिए एक संतुलित और उत्तरदायी दृष्टिकोण अत्यंत आवश्यक है। नीति-निर्माताओं को यह सुनिश्चित करना चाहिए कि एआई का उपयोग नैतिक सिद्धांतों, समावेशिता तथा देश की सामाजिक-आर्थिक वास्तविकताओं के अनुरूप हो। इसके अंतर्गत सुदृढ़ डेटा संरक्षण कानूनों की स्थापना, एआई प्रणालियों में पारदर्शिता और उत्तरदायित्व को बढ़ावा देना तथा कार्यबल को एआई-आधारित परिवर्तनों के लिए तैयार करने हेतु कौशल विकास में निवेश करना शामिल है। साथ ही, स्वदेशी अनुसंधान और नवाचार को प्रोत्साहित करना तथा सार्वजनिक-निजी भागीदारी को बढ़ावा देना भारत को सतत और संदर्भ-संवेदनशील एआई समाधान विकसित करने में सहायता कर सकता है। एक संतुलित रणनीति के माध्यम से भारत एआई के लाभों का अधिकतम उपयोग करते हुए इसके जोखिमों को न्यूनतम कर सकता है और यह सुनिश्चित कर सकता है कि तकनीकी प्रगति समाज के लिए सकारात्मक सिद्ध हो। [6]

13. निष्कर्ष

कृत्रिम बुद्धिमत्ता, मशीन लर्निंग, डीप लर्निंग और एजेंटिक एआई आधुनिक तकनीकी विकास के महत्वपूर्ण स्तंभ बन चुके हैं। इन तकनीकों ने विभिन्न क्षेत्रों में सेवाओं की गुणवत्ता और दक्षता को बढ़ाया है। स्वास्थ्य, शिक्षा, बैंकिंग, परिवहन और साइबर सुरक्षा जैसे क्षेत्रों में AI आधारित समाधान वास्तविक जीवन की समस्याओं को प्रभावी ढंग से हल कर रहे हैं। Agentic AI जैसे उन्नत मॉडल भविष्य में और अधिक स्वायत्त और बुद्धिमान प्रणालियाँ विकसित करेंगे। [4]

हालांकि कृत्रिम बुद्धिमत्ता के साथ नैतिकता, गोपनीयता और सुरक्षा से संबंधित चुनौतियाँ भी जुड़ी हुई हैं, जिन्हें संतुलित और जिम्मेदार तकनीकी विकास के माध्यम से हल किया जाना आवश्यक है। इस प्रकार कृत्रिम बुद्धिमत्ता तकनीक मानव समाज के विकास में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हुए भविष्य की स्मार्ट और डिजिटल दुनिया का निर्माण करेगी।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. Stanford University, *AI Index Report 2025*, Stanford Institute for Human-Centered AI, 2025, <https://hai.stanford.edu/ai-index/2025-ai-index-report>
2. McKinsey & Company, *The State of AI Report 2025*, McKinsey Global Survey, 2025, <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai>
3. Chen et al., *AI4Research: A Survey of Artificial Intelligence for Scientific Research*, arXiv, 2025, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.01903>
4. *Agentic AI: A Comprehensive Survey of Architectures, Applications, and Future Directions*, 2025, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.25445>
5. L. R. Alva and B. Pandey, “Agentic AI systems in the age of generative models: architectures, cloud scalability, and real-world applications,” *Artificial Intelligence Review*, 2026, vol. 59, Article no. 88, 2026, <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11458-6>
6. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, S. Russell and P. Norvig, Pearson, 4th Edition, 2021, http://lib.ysu.am/disciplines_bk/efdd4d1d4c2087fe1cbe03d9ced67f34.pdf
7. *Deep Learning*, I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, MIT Press, 2016, <https://aikosh.indiaai.gov.in/static/Deep+Learning+Ian+Goodfellow.pdf>
8. A. Vaswani et al., “Attention Is All You Need,” *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, pp. 6000 – 6010, 2011, <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3295222.3295349>
9. A. Krizhevsky et al., “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks, NeurIPS,” *NIPS'12: Proceedings of the 26th International Conference on Neural Information Processing Systems*, vol. 1, pp. 1097 – 1105, 2012, <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2999134.2999257>
10. S. Hochreiter and J. Schmidhuber, “Long Short-Term Memory,” *Neural Computation*, vol. 9, issue 8, pp. 1735-1780, 1997, <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
11. R. S. Sutton and A. G. Barto, *A Survey on Reinforcement Learning*, MIT Press, 2018, <https://mitpress.ubliish.com/book/reinforcement-learning-an-introduction-2>
12. IBM watsonx.ai use case, <https://www.ibm.com/docs/en/watsonx/saas?topic=cases-watsonxai-use-case>
13. TensorFlow API Documentation, 2024, https://www.tensorflow.org/api_docs
14. Meta, PyTorch Documentation, 2024, <https://meta-pytorch.org/>
15. Scikit-learn Tutorial, <https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/scikit-learn-tutorial/>
16. Introducing ChatGPT, <https://openai.com/index/chatgpt/>
17. Fabio Morandin-Ahuerma, IEEE: A global standard as an ethical AI initiative, 2023, https://www.researchgate.net/publication/374556351_IEEE_a_global_standard_as_an_ethical_AI_initiative
18. World Health Organization, “Ethics and Governance of AI for Health,” 2021, <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>
19. The Future of Jobs Report 2023 - World Economic Forum, <https://digital-skills-jobs.europa.eu/en/latest/research/future-jobs-report-2023-world-economic-forum>
20. AI Risk Management Framework, 2023, <https://www.nist.gov/itl/ai-risk-management-framework>
21. Lizzy Ofusori, Tebogo Bokaba and Siyabonga Mhlongo, “Artificial Intelligence in Cybersecurity: A Comprehensive Review and Future Direction,” *International Journal of Applied Artificial Intelligence*, vol. 38, issue 1, 2024, <https://doi.org/10.1080/08839514.2024.2439609>
22. Adib Bin Rashid, MD Ashfakul Karim Kausik, “AI revolutionizing industries worldwide: A comprehensive overview of its diverse applications,” *Hybrid Advances*, vol. 7, Dec 2024, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773207X24001386>



संवेदन अनुप्रयोग हेतु हाइड्रोथर्मल तकनीक से कार्बन क्वांटम डॉट्स का संश्लेषण

प्रज्ञा पटेल*, आदित्य श्रीवास्तव, शमशाद अहमद खान
भौतिक विभाग, सेंट एंड्रयूज कॉलेज सिविल लाइन, गोरखपुर, उत्तर प्रदेश, भारत-२७३००१
लेखक से संवाद के लिए ईमेल*- pragyapatel815@gmail.com

आलेख प्राप्त: २० फरवरी २०२६; अंतिम संशोधन ०६ अप्रैल २०२६; स्वीकृत: १३ अप्रैल २०२६

प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: २८ अप्रैल २०२६

सारांश

वर्तमान अध्ययन में, हमने प्राकृतिक कार्बन स्रोत के रूप में (OD) कार्बन क्वांटम डॉट्स के निर्माण के लिए सॉफ के बीज के पाउडर का उपयोग किया है। कार्बन क्वांटम डॉट्स का सरल, पर्यावरण-अनुकूल संश्लेषण एक-चरणीय हाइड्रोथर्मल विधि द्वारा किया गया है। इसके अलावा, संश्लेषित कार्बन क्वांटम डॉट्स का संरचनात्मक और आकारिकीय विश्लेषण HRXRD और HRTEM के उपयोग से किया गया है। HRXRD विश्लेषण से अनाकार ग्रेफाइट प्रोफाइल का पता चलता है, और HRTEM ने असमान गोलाकार आकारिकी और 10 nm से कम आकार के डॉट्स की उपस्थिति की पुष्टि होती है। UV-VIS स्पेक्ट्रोस्कोपी माप कार्बन-कार्बन द्वि-आबंध और कार्बोनिल समूह के अनुरूप $\pi-\pi^*$ और $n-\pi^*$ संक्रमणों को दर्शाता है। क्वांटम परिरोध प्रभाव के कारण, प्रकाश संदीप्ति स्पेक्ट्रा संश्लेषित कार्बन क्वांटम डॉट्स के दृश्य क्षेत्र में उत्तेजना-निर्भर उत्सर्जक व्यवहार को प्रकट करते हैं। इस अध्ययन में, अन्य भारी धातु आयनों की तुलना में, Ag^+ ने कार्बन क्वांटम डॉट्स के प्रकाश संदीप्ति शमन को काफी अधिक मजबूती से प्रदर्शित किया, जिसकी पहचान सीमा १० माइक्रो मोलर थी। यह संश्लेषित कार्बन क्वांटम डॉट्स की एक संवेदनशील Ag^+ संवेदन यंत्र के रूप में प्रभावी उपयोगिता को दर्शाता है।

मुख्य शब्द: कार्बन क्वांटम डॉट्स, प्रेषण इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी, UV-Vis स्पेक्ट्रोस्कोपी, प्रकाश संदीप्ति, संवेदक



Synthesis of Carbon Quantum Dots via Hydrothermal Technique for Sensing Applications

Pragya Patel*, Aditya Srivastava, Shamshad Ahmed Khan
Department of Physics, St. Andrew's College, Civil Line, Gorakhpur, Uttar Pradesh, India-273001
Corresponding author Email*: pragyapatel815@gmail.com

Received on: 20 February 2026; Final Revision: 09 April 2026; Accepted: 13 April 2026
Published Online First on: 28 April 2026

ABSTRACT

In the present investigation, fennel seed powder was employed as a sustainable natural precursor for the synthesis of zero-dimensional carbon quantum dots. Carbon quantum dots were synthesized via a facile and environmentally benign one-step hydrothermal approach. Comprehensive structural and morphological characterizations were performed using High-Resolution X-Ray Diffraction (HRXRD) and High Resolution Transmission Electron Microscopy (HRTEM). The HRXRD results revealed an amorphous graphitic nature, while HRTEM images confirmed the formation of quasi-spherical carbon quantum dots with non-uniform morphology and particle sizes below 10 nm. UV-Visible absorption spectra displayed characteristic $\pi-\pi^*$ and $n-\pi^*$ electronic transitions, attributed to C=C and C=O functional groups, respectively. Photoluminescence (PL) analysis demonstrated excitation-dependent emission behaviour in the visible region, arising from the quantum confinement effect. Notably, among various tested heavy metal ions, Ag^+ ions induced pronounced photoluminescence quenching of the carbon quantum dots, achieving a detection limit of 10 μ M. These findings highlight the promising potential of the synthesized carbon quantum dots as an efficient and sensitive fluorescent probe for Ag^+ ion detection.

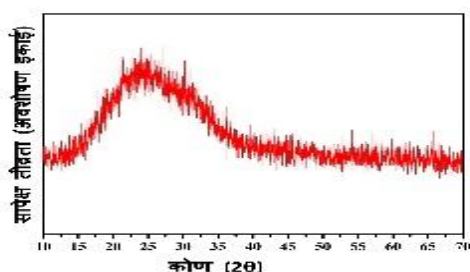
Keywords: Carbon quantum dots, HRXRD, FESEM, Photoluminescence

1. प्रस्तावना

मेसोस्कोपिक जगत में 'सेमीकंडक्टर नैनोक्रिस्टल' शब्द को अक्सर क्वांटम डॉट्स के रूप में जाना जाता है, जो गोलाकार और वृत्ताकार आकृति वाले नैनोस्केल सेमीकंडक्टर होते हैं। [1] कार्बन क्वांटम डॉट्स शून्य-आयामी कार्बन-आधारित नैनोमटेरियल का नया रूप हैं जो प्रबल उत्तेजना-निर्भर फोटोवोल्टेज सेल के लिए उल्लेखनीय हैं। अपनी खोज के बाद से, कार्बन क्वांटम डॉट्स ने जीव विज्ञान, संवेदन, नैनो विज्ञान और फोटो इलेक्ट्रोडिवाइस के क्षेत्र में शोधकर्ताओं की रुचि जगाई है, और उनके संश्लेषण और अनुप्रयोगों में महत्वपूर्ण प्रगति हुई है। [2] ये नैनोकण या तो ग्रेफाइट क्रिस्टलीय (sp²) या अनाकार (मिश्रित sp²/sp³) कार्बन कोर और एक स्व-निष्क्रिय आवरण से बने होते हैं, जिसमें हाइड्रॉक्सिल, एमीन और कार्बोक्सिलेट जैसे कई कार्यात्मक समूह शामिल किए जा सकते हैं। [3] कार्बन क्वांटम डॉट्स पारंपरिक अर्धचालक क्वांटम डॉट्स के बांछनीय प्रकाशीय गुणों को कई कमियाँ, जैसे कि कोशिका विषाक्तता और पर्यावरणीय खतरों, को दूर करते हुए संयोजित करते हैं। इसके अतिरिक्त, वे अच्छी जल घुलनशीलता, रासायनिक स्थिरता, प्रकाश-विरंजन के प्रति प्रतिरोध और बड़े पैमाने पर उत्पादन के लिए व्यवहार्य आसान सतह कार्यात्मकता प्रदर्शित करते हैं।

सिल्वर (Ag⁺) एक व्यापक और खतरनाक प्रदूषक है जो जलीय पारिस्थितिकी तंत्र और मानव स्वास्थ्य के लिए गंभीर जोखिम पैदा करता है। इसलिए, Ag⁺ का सटीक पता लगाना एक महत्वपूर्ण प्राथमिकता है, और इस उद्देश्य के लिए कई विश्लेषणात्मक विधियाँ विकसित की गई हैं। हालांकि, कई मौजूदा तकनीकें महंगी, समय लेने वाली, लागू करने में जटिल या पर्याप्त संवेदनशीलता की कमी वाली हैं। परिणामस्वरूप, इन सीमाओं को दूर करने के लिए नए संवेदन विकल्पों और अनुकूलित प्रकाश संदीप्त संवेदन यंत्रों पर काम किया जा रहा है।

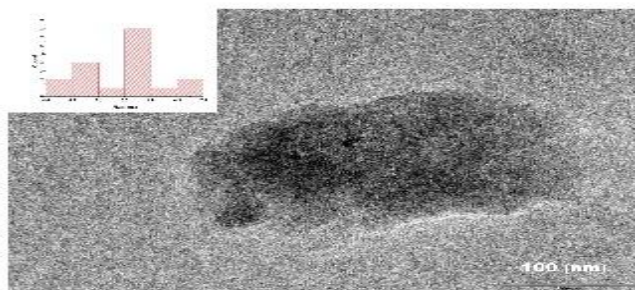
हालांकि धातु आयन संवेदन के लिए कई जैव-आधारित कार्बन क्वांटम डॉट्स की रिपोर्ट की गई है, फिर भी बेहतर प्रतिदीप्ति गुणों और संवेदन दक्षता वाले नए टिकाऊ तथा सुलभ प्रारंभिक पदार्थों की खोज अनुसंधान का एक प्रमुख क्षेत्र बना हुआ है। इस संदर्भ में, सौंफ के बीज का पाउडर एक आसानी से उपलब्ध घरेलू और नवीकरणीय जैव-मास संसाधन है जो कार्बन और ऑक्सीजन से भरपूर है, और कार्बन क्वांटम डॉट्स के लिए एक प्रभावी स्रोत के रूप में कार्य कर सकता है। वर्तमान कार्य में, सौंफ के बीज से प्राप्त कार्बन क्वांटम डॉट्स को एक सरल एक-चरणीय हाइड्रोथर्मल विधि द्वारा संश्लेषित किया गया है। इसके अलावा, तैयार किए गए कार्बन क्वांटम डॉट्स, Ag⁺ की अत्यधिक संवेदनशील और चयनात्मक पहचान प्रदर्शित करते हैं, जो



2. विवेचना

पर्यावरण निगरानी के लिए कुशल ऑप्टिकल नैनोप्रोब्स के रूप में उनकी क्षमता को उजागर करते हैं।

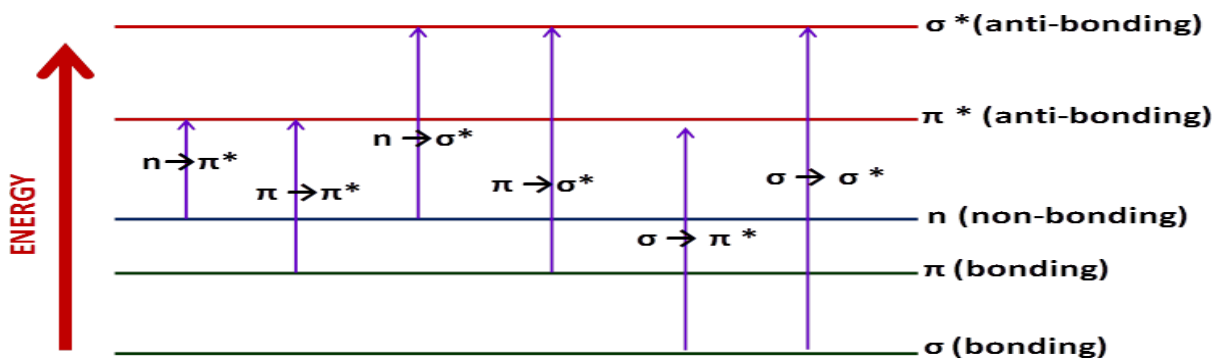
सौंफ के बीज के पाउडर को कार्बन स्रोत के रूप में उपयोग करके कार्बन क्वांटम डॉट्स का संश्लेषण किया गया है। कार्बन क्वांटम डॉट्स के संश्लेषण के लिए पर्यावरण के अनुकूल हाइड्रोथर्मल उपचार विधि का प्रयोग किया गया। संक्षेप में, 0.5 ग्राम सौंफ के बीज के पाउडर को 30 मिलीलीटर अतिशुद्ध जल में मिलाया गया और 30 मिनट तक अल्ट्रासोनिकेट किया गया। परिणामी सस्पेंशन को 60 मिलीलीटर टेफ्लॉन-लाइन वाले हाइड्रोथर्मल रिएक्टर में डाला गया, जिसे एक प्रोग्रामेबल मफल भट्टी में रखा गया और 180 डिग्री सेल्सियस पर 3.5 घंटे तक गर्म किया गया। रिएक्टर को कमरे के तापमान तक स्वाभाविक रूप से ठंडा होने देने के बाद, हमें एक हल्का भूरा घोल प्राप्त हुआ। इस घोल को 10,000 आरपीएम पर 20 मिनट तक सेंट्रीफ्यूज किया गया, और फिर शुद्ध कार्बन क्वांटम डॉट्स को एकत्रित करने के लिए सुपरनेटेंट को 0.22 μm सिरिज फिल्टर से गुजारा गया। तैयार किए गए कार्बन क्वांटम डॉट्स का संरचनात्मक विश्लेषण रेगाकू एक्स-रे विवर्तनमापी अल्टिमा IV का उपयोग करके उच्च-रिज़ॉल्यूशन एक्स-रे विवर्तनमापी (HRXRD) द्वारा किया गया। कार्बन क्वांटम डॉट्स का आकारिकीय लक्षण वर्णन JEOL JEM-F200 का उपयोग करके उच्च-रिज़ॉल्यूशन प्रेषण इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी (HRTEM) द्वारा किया गया। संश्लेषित नमूने के प्रकाशीय गुणों का अवलोकन लैम्डा 365 UV/VIS स्पेक्ट्रोफोटोमीटर के माध्यम से 200-1000 नैनोमीटर की तरंगदैर्घ्य सीमा में किया गया। प्रकाश संदीप्ति गुणों को RF-5301PC स्पेक्ट्रोफ्लोरोफोटोमीटर का उपयोग करके रिकॉर्ड किया गया। तैयार किए गए कार्बन क्वांटम डॉट्स की बनावट का अवलोकन उच्च-रिज़ॉल्यूशन एक्स-रे विवर्तनमापी (Cu लक्ष्य, λ=1.54056 Å (CuKα1) का उपयोग करके) द्वारा HRXRD विश्लेषण के माध्यम से किया गया। कार्बन क्वांटम डॉट्स की अनाकार ग्रेफाइट प्रकृति की पुष्टि HRXRD प्रोफाइल (चित्र 1) द्वारा की गई, जिसमें 24.2° पर एक चौड़ा उभार है। यह उभार (002) तल को दर्शाता है जो कार्बन क्वांटम डॉट्स के भीतर उपस्थित समानांतर व्यवस्थित ग्रेफाइट परतों से मेल खाता है। कार्बन क्वांटम डॉट्स के आकार और आकृति विज्ञान का विश्लेषण करने के लिए HRTEM किया गया। HRTEM छवि संश्लेषित कार्बन क्वांटम डॉट्स में गोलाकार संरचना की उपस्थिति को दर्शाती है। जिनके कणों का व्यास 10 nm से कम है।



चित्र १: कार्बन क्वांटम डॉट्स का HRXRD पैटर्न तथा HRTEM छवि (यह चित्र सन्दर्भ संख्या [2] से लिया गया है)

कार्बन क्वांटम डॉट्स के प्रकाशीय गुणों का विश्लेषण UV/VIS स्पेक्ट्रोस्कोपी द्वारा किया गया। UV/VIS स्पेक्ट्रोस्कोपी तकनीक निम्न तरंगदैर्घ्य क्षेत्र में विद्युत चुम्बकीय विकिरण का उपयोग करती है और आणविक संरचनाओं और कार्यात्मक समूहों की पहचान के लिए कार्बनिक पदार्थों के विश्लेषण में इसका व्यापक अनुप्रयोग है। π -इलेक्ट्रॉन या गैर-बंधन इलेक्ट्रॉन (non-bonding) (n-इलेक्ट्रॉन) वाले अणु पराबैंगनी या दृश्य विकिरण को अवशोषित कर सकते हैं, जिससे ये इलेक्ट्रॉन उच्च-ऊर्जा वाले प्रतिबंधन आणविक कक्षकों में संक्रमण कर सकते हैं। कार्बन क्वांटम डॉट्स

के स्पेक्ट्रोस्कोपिक विश्लेषण में, इलेक्ट्रॉनिक, कंपन और चुंबकीय अवस्थाएँ महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं। इनमें से, इलेक्ट्रॉनिक संक्रमणों में महत्वपूर्ण ऊर्जा अंतर शामिल होते हैं, और संबंधित फोटॉन विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के पराबैंगनी-दृश्य क्षेत्र में आते हैं, लगभग २०० से ८०० नैनोमीटर तक, जहाँ ४०० से ८०० नैनोमीटर दृश्य सीमा का प्रतिनिधित्व करता है। इस सीमा में देखे गए अवशोषण शिखरों को अणु के भीतर विशिष्ट बंधन प्रकारों के साथ सीधे सहसंबंधित किया जा सकता है, जिससे विभिन्न कार्यात्मक समूहों की उपस्थिति के बारे में जानकारी मिलती है।

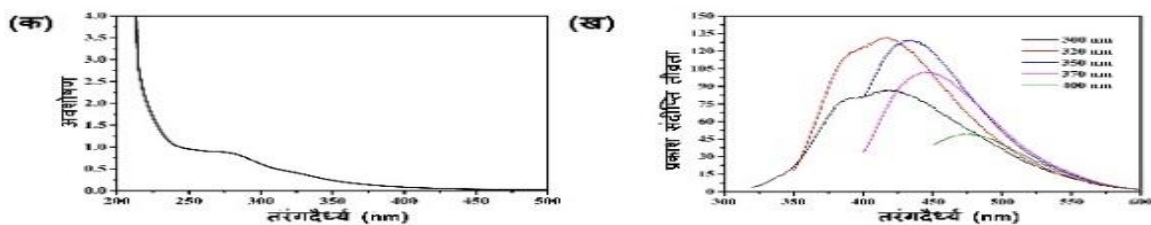


चित्र २: विभिन्न इलेक्ट्रॉनिक संक्रमणों के लिए ऊर्जा स्तर आरेख (यह चित्र सन्दर्भ संख्या [1] से लिया गया है)

चित्र 2 कार्बनिक अणुओं में होने वाली विभिन्न प्रकार की इलेक्ट्रॉनिक उत्तेजनाओं को दर्शाता है। दर्शाए गए छह संक्रमणों में से, केवल सबसे कम ऊर्जा आवश्यकताओं वाले दो संक्रमण ही UV/VIS स्पेक्ट्रोस्कोपी द्वारा आमतौर पर कवर की जाने वाली 200-800 नैनोमीटर रेंज के भीतर सुलभ हैं। कार्बन क्वांटम डॉट्स के अवशोषण स्पेक्ट्रा (चित्र 3 (क)) में एक लंबी पूंछ दिखाई देती है जो C=C (280 नैनोमीटर) के π - π^* संक्रमण और C=O (320 नैनोमीटर) के n- π^* संक्रमण से संबंधित अवशोषण शिखर दर्शाती है। कार्बन क्वांटम डॉट्स की सामान्य विशेषता उत्तेजना-निर्भर प्रकृति है, [4] और इसे 300 नैनोमीटर से 400 नैनोमीटर की सीमा में विभिन्न उत्तेजना तरंग दैर्घ्य पर संश्लेषित कार्बन क्वांटम डॉट्स के प्रकाश संदीप्ति स्पेक्ट्रम (चित्र 3 (ख)) द्वारा देखा जा सकता है। कार्बन क्वांटम डॉट्स के प्रकाश संदीप्ति परिणाम 350 नैनोमीटर पर अधिकतम प्रतिदीप्ति दर्शाते हैं। उत्तेजना तरंग दैर्घ्य में वृद्धि के साथ, कार्बन क्वांटम डॉट्स के प्रकाश संदीप्ति स्पेक्ट्रा में एक रेड शिफ्ट देखा गया है। इस उत्तेजना-निर्भर उत्सर्जन प्रकृति की व्याख्या के लिए स्थापित

सिद्धांत यह बताता है कि क्वांटम परिरोध (आकार) प्रभाव इस व्यवहार के लिए उत्तरदायी है। कार्बन क्वांटम डॉट्स का आकार और बैंड अन्तराल एक दूसरे पर विपरीत निर्भरता दर्शाते हैं। डॉट्स का आकार घटने पर बैंड अन्तराल चौड़ा होता है और आकार बढ़ने पर संकरा होता है। ऊर्जा अंतराल में भिन्नता कार्बन क्वांटम डॉट्स के असमान वितरण के कारण उत्पन्न होती है, जिससे उत्सर्जन तरंगदैर्घ्य व्यापक हो जाता है और लगभग संपूर्ण दृश्य स्पेक्ट्रम को कवर करता है। [5]

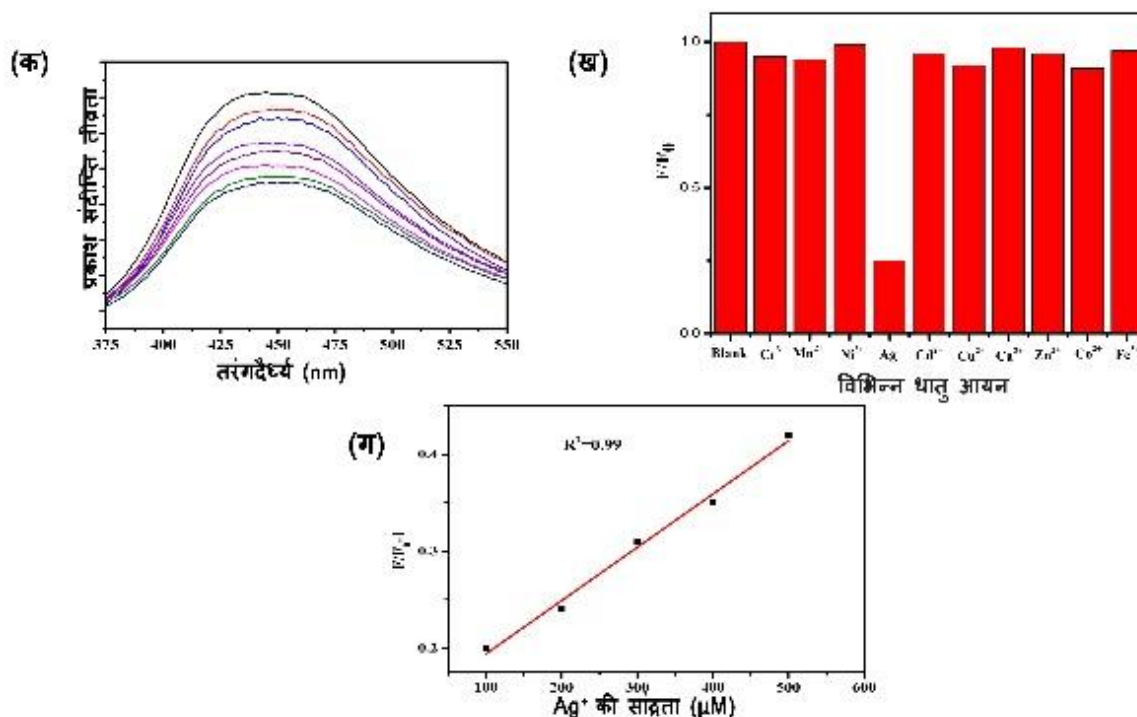
शुद्ध कार्बन क्वांटम डॉट्स स्टॉक विलयन के 100 μ L को 5.0 मिली लीटर विआयनीकृत जल में मिलाया गया। सिल्वर नाइट्रेट ($AgNO_3$) के कार्यशील विलयन को 10 माइक्रो मोलर स्टॉक से विआयनीकृत जल में तनु करके प्राप्त किया गया। Ag^+ विलयन की कुछ मात्रा को कार्बन क्वांटम डॉट्स सस्पेंशन में मिलाकर Ag^+ की निम्नलिखित सांद्रताएँ प्राप्त की गईं: 0, 100, 200, 300, 400 और 500 माइक्रो मोलर प्रत्येक मिश्रण के प्रकाश संदीप्ति का अवलोकन 350 नैनोमीटर की उत्तेजना तरंगदैर्घ्य पर किया गया। मापन कमरे के तापमान पर, उद्भवन के बाद 5-मिनट के अंतराल पर किए गए।



चित्र ३: कार्बन क्वांटम डॉट्स का (क) UV/VIS स्पेक्ट्रा तथा (ख) प्रकाश संदीप्ति स्पेक्ट्रा (यह चित्र सन्दर्भ संख्या [4] से लिया गया है)

Ag^+ के प्रति कार्बन क्वांटम डॉट्स की चयनात्मकता की जांच करने के लिए, विभिन्न धातु धनायनों (Cd^{2+} , Mn^{2+} , Ag^+ , Ni^{2+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , और Fe^{3+}) के २० माइक्रो मोलर विलयनों के 10 माइक्रो लीटर

को अलग-अलग कार्बन क्वांटम डॉट्स विलयन में मिलाया गया और कार्बन क्वांटम डॉट्स की प्रतिदीप्ति पर पड़ने वाले प्रभावों का मापन किया गया।



चित्र ४: (क) विभिन्न सांद्रता वाले Ag^+ के संपर्क में आने के बाद कार्बन क्वांटम डॉट्स विलयन के प्रकाश संदीप्ति स्पेक्ट्रा। (ख) कई धातु धनायनों के साथ परस्पर क्रिया करने पर कार्बन क्वांटम डॉट्स जांच के F/F_0 में भिन्नताएँ। (ग) 0–500 माइक्रो मोलर की रेंज में Ag^+ सांद्रता के मुकाबले $F_0/F - 1$ का रैखिक प्रतिगमन प्लॉट। (यह चित्र सन्दर्भ संख्या [2] से लिया गया है)

चित्र 4 (क) 0 से 500 माइक्रो मोलर सांद्रता सीमा में Ag^+ के साथ परस्पर क्रिया के बाद कार्बन क्वांटम डॉट्स के प्रकाश संदीप्ति स्पेक्ट्रम को दर्शाता है। कार्बन क्वांटम डॉट्स 450 नैनोमीटर पर एक प्रमुख उत्सर्जन शिखर दर्शाते हैं, और Ag^+ सांद्रता बढ़ने के साथ प्रकाश संदीप्ति का मान उत्तरोत्तर घटता जाता है। कार्बन क्वांटम डॉट्स में Ag^+ आयनों के प्रवेश के बाद देखी गई प्रकाश संदीप्ति शमन संभवतः कार्बन क्वांटम डॉट्स में ऑक्सीजन युक्त सतही कार्यात्मक समूहों के साथ Ag^+ की परस्पर क्रिया से संबंधित है। Ag^+ आयनों और इन कार्यात्मक समूहों के बीच समन्वय गैर-विकिरणकारी इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण प्रक्रियाओं को बढ़ावा देता है, जिससे अंततः प्रतिदीप्ति तीव्रता का दमन होता है। चित्र 4 (ग) में F/F_0 के साथ सांद्रता भिन्नता को दर्शाया गया है (F और F_0 क्रमशः धातु आयन (Ag^+) की उपस्थिति और अनुपस्थिति में प्रकाश संदीप्ति तीव्रता को प्रदर्शित करते हैं)। 0–500 माइक्रो मोलर सीमा पर एक मजबूत रैखिक प्रतिगमन प्लॉट प्राप्त हुआ, जिसका सहसंबंध गुणांक (R^2) 0.99 था, जो स्टर्न-वोलमर मॉडल के अनुरूप है। Ag^+ के लिए पता लगाने की सीमा 10 माइक्रो मोलर मापी गई, जो दर्शाता है कि संश्लेषित कार्बन क्वांटम डॉट्स Ag^+ का पता लगाने के लिए पर्याप्त रूप से संवेदनशील हैं। जैसा कि चित्र 4 (ख) में दिखाया गया है, समान सांद्रता (20 माइक्रो मोलर)

पर अन्य धातु आयनों की तुलना में केवल Ag^+ ने ही स्पष्ट प्रतिदीप्ति तीव्रता का शमन उत्पन्न किया, जो दर्शाता है कि कार्बन क्वांटम डॉट्स अन्य आयनों की तुलना में Ag^+ के लिए उत्कृष्ट चयनात्मकता प्रदर्शित करते हैं।

3. उपसंघार

कार्बन क्वांटम डॉट्स के संश्लेषण के लिए एक टिकाऊ और किफायती हाइड्रोथर्मल विधि अपनाई गई। HRXRD और HRTEM विश्लेषण से अनाकार-ग्रेफाइटिक संरचना का पता चला और 10 नैनोमीटर से कम आकार के गोलाकार डॉट्स की उपस्थिति की पुष्टि हुई। संश्लेषित कार्बन क्वांटम डॉट्स के UV-Vis स्पेक्ट्रा में 280 नैनोमीटर और 320 नैनोमीटर पर क्रमशः $\pi-\pi^*$ संक्रमण और $n-\pi^*$ संक्रमण को दर्शाने वाले दो अवशोषण शिखर हैं, जिनमें एक विस्तारित पूंछ है। संश्लेषित कार्बन क्वांटम डॉट्स के प्रकाश संदीप्ति स्पेक्ट्रा क्वांटम आकार प्रभाव के कारण कई उत्तेजना तरंग दैर्ध्य के लिए उत्तेजना-निर्भर व्यवहार दर्शाते हैं। हमने यह भी प्रदर्शित किया है कि हमारे

संश्लेषित जल में घुलनशील कार्बन क्वांटम डॉट्स Ag^+ का पता लगाने के लिए एक उत्कृष्ट संवेदन यंत्र है।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

- [1] Srivastava, A. Studies of semiconductor quantum dots and its applications [Deen Dayal Upadhyay Gorakhpur University]. 2025. <https://shodhganga.inflibnet.ac.in/handle/10603/689355>.
- [2] Srivastava, A., Khan, Z. M. S. H., Akhtar, M. S., & Khan, S. A. Nitrogen self-doped desiccated coconut-derived carbon dots as optical nanoprobe sensor for the detection of heavy metal ion Hg^{2+} . *Emergent Materials* 2024; 7 (4):1819–29. <https://doi.org/10.1007/s42247-024-00704-2>
- [3] Srivastava, A., & Khan, S. A. Graphene Quantum Dots-Based Heterojunction Solar Cells. In S. Ameen, M. S. Akhtar, & I. Kong (Eds.), *Nanomaterials for Sensors and Sustainable Energy Volume 1*. Springer Nature Singapore 2025; 219–40. https://doi.org/10.1007/978-981-96-0660-3_10.
- [4] Khan, Z. M. S. H., Saifi, S., Shumaila, Aslam, Z., Khan, S. A., & Zulfeqar, M. A facile one step hydrothermal synthesis of carbon quantum dots for label -free fluorescence sensing approach to detect picric acid in aqueous solution. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 2020; 388:112201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2019.112201>.
- [5] Khan, Z. M. S. H., Rahman, R. S., Shumaila, Islam, S., & Zulfeqar, M. Hydrothermal treatment of red lentils for the synthesis of fluorescent carbon quantum dots and its application for sensing Fe^{3+} . *Optical Materials* 2019; 91: 386–95. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.03.054>.



आधुनिक विज्ञान के महानतम् हस्ताक्षरः प्रो०सी०वी०रामन

देवेन्द्र नाथ त्रिपाठी

नेशनल पी० जी० कालेज बड़हलगांज गोरखपुर

लेखक से संवाद के लिए ईमेल* - dntripathi.gkp@gmail.com

आलेख प्राप्त: ०३ फरवरी २०२६; स्वीकृत: १८ फरवरी २०२६

प्रथम ऑनलाइन प्रकाशित: ३० अप्रैल २०२६

सारांश

प्रो० चन्द्र शेखर वेंकटरामन सच्चे अर्थों में वैज्ञानिक थे। वे उस भारतीय महान परम्परा के अनुयायी थे जो सादा जीवन और उच्च विचार में विश्वास रखती है। पराधीन भारत में जब वैज्ञानिक उपकरणों और सुविधाओं का नितान्त अभाव था, विज्ञान के इस मनीषी ने इतना विलक्षण अन्वेषण किया कि सम्पूर्ण संसार आश्चर्य चकित रह गया। वह अन्वेषण, जो बाद में 'रामन प्रभाव' के नाम से प्रसिद्ध हुआ, इतना महत्वपूर्ण और उपयोगी था कि आज उसकी खोज के नौ दशक बाद भी संसार के विभिन्न देशों में उस पर जितना शोध कार्य हो रहा है उतना शायद ही किसी अन्वेषण पर हुआ हो। प्रो० रामन के भीतर किसी भी वस्तु की गहराई में जाकर उसकी परख करने और उसे संश्लेषणात्मक दृष्टि से निपुणता पूर्वक सुव्यवस्थित करने की तेज विचारशक्ति समाहित थी। वह पहले ऐसे वैज्ञानिक थे जिन्होंने द्रव्य के भीतर प्रोटान की ऊर्जा के आंशिक रुपान्तरण के तथ्य को स्वीकार किया और उसका प्रदर्शन किया। उनके अनुसंधान के प्रमुख विषय थे - 'ध्वनिकी और प्रकाशिकी'। वह कौन सी चीज थी जिसने रामन को वैज्ञानिक अनुसंधान के लिए अपना सारा जीवन समर्पित कर देने के लिए प्रेरित किया? उन परिस्थितियों और प्रेरणाओं का उल्लेख यहां प्रस्तुत है।

सूचक शब्द : डिफ्रैक्शन बैण्ड, फाब्री-पेरोट, पृष्ठसर्पी, अधिस्वर, हार्मोनिक, ध्रुवक



The greatest signature of modern science: Prof. C. V. Raman

Devendra Nath Tripathi
National P.G. College, Barhalganj, Gorakhpur
Corresponding Author Email*: dntripathi.gkp@gmail.com

Received on: 3 February 2026; Accepted: 18 February 2026

Published Online First on: 30 April 2026

ABSTRACT

Chandrasekhar Venkata Raman was a scientist in the true sense. He was a follower of that great Indian tradition which believes in simple living and high thinking. In colonial India, when there was a complete lack of scientific instruments and facilities, this great thinker of science carried out such remarkable research that the entire world was astonished. That discovery, which later became famous as the *Raman Effect*, was so significant and useful that even nine decades after its discovery, research on it continues in various countries of the world—perhaps more than on any other discovery.

Prof. Raman possessed a sharp intellect that enabled him to probe deeply into any subject, examine it thoroughly, and organize it skillfully with a synthetic approach. He was among the first scientists to accept and demonstrate the fact of partial transformation of energy within matter. His main areas of research were *acoustics* and *optics*.

What was it that inspired Raman to dedicate his entire life to scientific research? The circumstances and motivations behind this are presented here.

Keywords: diffraction band, Fabry–Perot, interference fringes, overtones, harmonics, polarization

लेखक परिचय

देवेन्द्र नाथ त्रिपाठी

डॉ. डी० एन० त्रिपाठी का जन्म सिद्धार्थनगर जनपद के बांसी तहसील में ०१.०२.१९५६ को जन्म हुआ। डॉ. त्रिपाठी की उच्च शिक्षा गोरखपुर विश्वविद्यालय में पूर्ण हुई। वर्ष १९७७ में एम०एस०सी० (भौतिकी) व वर्ष १९८१ में पीएच.डी. उपाधि प्राप्त की। शोध कार्य के लिए CSIR की जूनियर व सीनियर रिसर्च फेलोशिप प्राप्त की। १६ जुलाई १९८१ से बुद्ध स्नातकोत्तर महाविद्यालय कुशीनगर में असिस्टेंट प्रोफेसर के रूप में कार्य प्रारम्भ। १६ जुलाई १९९४ से एसोसिएट प्रोफेसर के रूप में नियुक्त हुए। १३ दिसम्बर २००५ तक यहां सेवा करने के पश्चात् डी० ए० वी० पी० जी० कालेज गोरखपुर में स्थानान्तरित हुए। उ०प्र० उच्चतर शिक्षा सेवा आयोग से चयनित होकर नेशनल पी. जी. कालेज बड़हलगांज गोरखपुर में अक्टूबर २०१० से प्राचार्य एवं प्रोफेसर के पद पर सेवा प्रदान किया एवं ३० जून २०१८ को सेवानिवृत्त हुए। अपने सेवा के प्रारंभिक वर्षों में विश्वविद्यालय अनुदान अयोग द्वारा अनुदानित चार शोध परियोजनाएं पूर्ण की। विजिटिंग एसोसिएट (यू० जी. सी० द्वारा अनुदानित) के रूप में तीन वर्षों तक विभिन्न विश्वविद्यालय/संस्थानों में शोध सम्बन्धी कार्य किया। कुल ८ शोध पत्र विभिन्न अन्तरराष्ट्रीय ख्याति प्राप्त जर्नल्स में प्रकाशित है। भौतिकी के सभी शाखाओं पर लिखित लगभग २५ पुस्तकें प्रकाशित की हैं। अनेक राष्ट्रीय व अंतरराष्ट्रीय संगोष्ठीयों में सहभागिता किया है। आपने हिंदी भाषा में विज्ञान लेखन एवं अध्ययन को बढ़ावा देने के लिए उत्कृष्ट कार्य किया है।

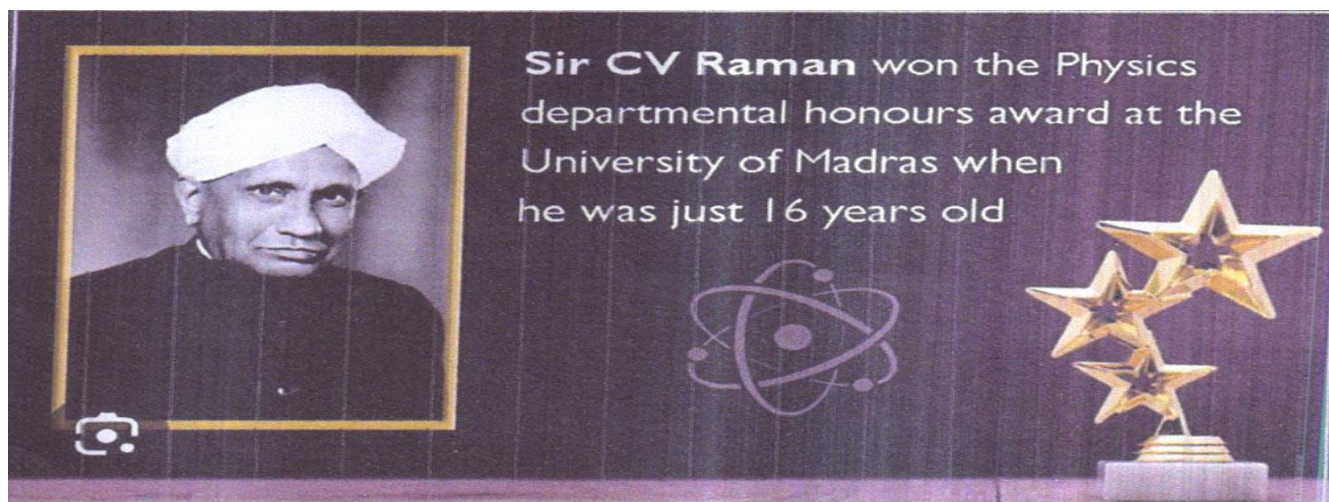


तमिलनाडु राज्य के शहर तिरुचिरापल्ली के निकट अय्यनपेट्टई गांव के एक ब्राह्मण परिवार में 7 नवम्बर, 1888 को बालक चन्द्रशेखर वेंकटरामन का जन्म हुआ था। रामन के पिता श्री चन्द्रशेखर अय्यर और माँ श्रीमती पार्वती अम्मल की प्रबल इच्छा थी कि वे अपने पुत्र को खूब पढ़ा लिखाकर एक बड़ा सरकारी अफसर बनायें। यही सोच कर श्री चन्द्रशेखर अय्यर अपने परिवार को लेकर गांव से तिरुचिरापल्ली आ गये। संयोगवश उनको यहां स्थानीय हाई स्कूल में अध्यापक की नौकरी मिल गई। अध्यापन कार्य के साथ श्री अय्यर ने अपनी पढ़ाई आगे भी जारी रखी। बी०ए० में उनका मुख्य विषय

‘भौतिकी’ था। इस प्रकार उच्च शिक्षा प्राप्त कर वह अध्यापक से प्रवक्ता और फिर बाद में भौतिकी के प्रोफेसर बन गए¹।

विद्यार्थी रामन :

चन्द्रशेखर वेंकटरामन को भी तिरुचिरापल्ली के एक स्कूल में प्रवेश दिलाया गया। बालक रामन अत्यन्त कुशाग्र बुद्धि के थे। पुस्तकें पढ़ना रामन को बहुत पसन्द था। स्कूल से लौटने के बाद भी वह पुस्तकों में ही खोये रहते थे। आरम्भ से ही वह हर कक्षा में प्रथम आते रहे। प्रथम श्रेणी में प्रथम स्थान पर रहकर मिडिल (आठवीं) कक्षा उत्तीर्ण करने के बाद उनका प्रवेश विशाखापत्तनम के हिन्दू कालेज में हुआ। ग्यारह वर्ष की उम्र में ही मैट्रिक (हाई स्कूल) परीक्षा में प्रथम स्थान पाकर उत्तीर्ण होने के बाद उन्होंने एफ० ए० (इण्टरमीडिएट) में प्रवेश लिया। 14 वर्ष की कम उम्र में ही मद्रास के प्रेसीडेन्सी कालेज में बी०ए० में प्रवेश ले लिया। रामन कक्षा में सबसे छोटी उम्र के थे। अंग्रेजी के अध्यापक ई०एच० इलियट ने जब कक्षा में प्रथम बार रामन को देखा तो उन्हें विश्वास ही नहीं हुआ कि इतना छोटा सा बालक बी०ए० में प्रवेश ले सकता है²। अतः उन्होंने एफ०ए० में पढ़ाई जाने वाली पुस्तकों के आधार पर रामन से कुछ प्रश्न किये। प्रो० इलियट रामन के उत्तरों से बहुत प्रभावित हुए। रामन ने बी०ए० में भी विश्वविद्यालय में प्रथम स्थान प्राप्त किया। इस अपूर्व सफलता के लिए उन्हें स्वर्ण पदक और एल्फिंस्टन पदक प्रदान किये गये (चित्र-1)। उनके अध्यापकों ने उन्हें ‘तीस साल में मिला सर्वश्रेष्ठ विद्यार्थी’ बताया। उनके अध्यापकों ने उन्हें आगे पढ़ने के लिए इंग्लैण्ड जाने की सलाह दी लेकिन मद्रास के सिविल सर्जन ने उन्हें स्वास्थ्य की दृष्टि से इंग्लैण्ड में रहने के लिए अयोग्य पाया। उस सिविल सर्जन को रामानुजन का उदाहरण याद आ गया था। बाद में रामन ने मद्रास के प्रेसीडेन्सी कालेज में प्रवेश ले लिया। रामन ने अपने अध्ययन का विषय भौतिकी रखा। एक मेधावी छात्र होने के कारण विद्यालय की प्रयोगशाला रामन के लिए सदैव खुली रहती थी। कक्षा में जाकर पढ़ने की अनिवार्यता भी उनके लिए नहीं थी। लाइब्रेरी में उनको विशेष अधिकार प्राप्त था। वह कोई भी संदर्भ पुस्तक घर ले जा सकते थे। बाद में प्रेसीडेन्सी कालेज की शताब्दी के अवसर पर उन्होंने एक लेख में इस बारे में लिखा “प्रो० जोन्स उन छात्रों को कक्षा में आने के लिए बाध्य नहीं करते थे” जो अपनी पढ़ाई का ध्यान स्वयं रख सकते थे। परिणामस्वरूप प्रेसीडेन्सी कालेज के चार वर्षों में मैंने ऐसी शैक्षणिक स्वाधीनता का आनन्द लिया जिस पर सहसा विश्वास नहीं होता। एक ही घटना का उल्लेख करना पर्याप्त होगा — मुझे याद है कि एम०ए० की दो वर्ष की पढ़ाई में मैं केवल एक ही लेक्चर में उपस्थित हुआ था और वह भी प्रो० जोन्स के फाब्री-पेरोट पर दिये लेक्चर में। अगर विश्वविद्यालय के वर्तमान नियमों में कुछ ऐसी व्यवस्था हो जाय कि मेधावी छात्रों को नित्य प्रति के व्याख्यानों में उपस्थित होने से छुट्टी दे दी जाय तो यह सब के लिए अच्छा होगा। हमारे विश्वविद्यालयों में अप्रचलित अंशों का प्राचुर्य है। व्याख्यान प्रायः उन्हीं व्याख्यानों की पुनरावृत्ति मात्र होते हैं जो स्वयं शिक्षकों ने छात्र जीवन में सुने थे। मेधावी छात्र इस बात को तुरन्त भांप लेते हैं और इसी कारण शिक्षक और छात्र के सम्बन्धों में तनाव आ जाता है।



चित्र-1

प्रथम शोध लेख :

रामन ने पहला उल्लेखनीय प्रयोग मात्र 16 वर्ष की आयु में ही कर लिया था। उन्होंने कालेज के स्पेक्ट्रोमीटर से प्रिज्म के कोण नापते हुये पाया कि आपतन (इंसीडेंस) के पृष्ठ सर्पी कोण (ग्रेजिंग एंगल) के निकट कुछ विवर्तन (डिफ्रैक्शन) बैंड बनते हैं। उन्होंने इन बैंडों के बनने का कारण जानना चाहा पर उपलब्ध साहित्य में कहीं भी उसका उल्लेख न था। अतएव उन्होंने स्वयं शोध किया और उनके बनने का कारण जान लिया। बाद में उन्होंने इस बारे में स्वयं एक शोध पत्र लिखकर अपने अध्यापक श्री जोन्स को दिखाया। उनके कुछ भी टीका-टिप्पणी न करने पर रामन ने उस शोध पत्र को लन्दन की **फिलोसाफिकल मैगजीन** में प्रकाशन हेतु भेज दिया। इस पत्रिका के नवम्बर 1906 अंक में “**अनसिमेट्रिकल डिफ्रैक्शन बैंड्स ड्यू टू ए रेक्टैंगुलर एपरचर**” शीर्षक से छपा।

यह लेख रामन के आत्मविश्वास का द्योतक था। वास्तव में उस समय भी उनमें अपार आत्मविश्वास था। इस

लेख के बाद उसी पत्रिका ने पृष्ठ तनाव नापने की एक नयी प्रायोगिक पद्धति के बारे में एक नोट प्रकाशित किया।

उन्हीं दिनों उस समय के महान वैज्ञानिक लार्ड रैले से उनका पत्र-व्यवहार आरंभ हुआ। मजेदार बात यह है कि लार्ड रैले को उस समय यह नहीं मालूम था कि रामन कालेज के एक विद्यार्थी थे। वे उन्हें प्रेसीडेन्सी कालेज का प्रोफेसर समझते थे।

सरकारी सेवा :

इसी बीच रामन ने भारतीय वित्त सेवा की परीक्षा दी। इस परीक्षा में इतिहास और अर्थशास्त्र आवश्यक विषय थे। ये उन्होंने कभी नहीं पढ़े थे, तो भी रामन इस परीक्षा में अखिल भारतीय स्तर पर सर्वप्रथम रहे और केवल 18 वर्ष की अवस्था में डिप्टी एकाउण्टेंट जनरल बन गये। कलकत्ते में इस पद का कार्यभार संभालने से पूर्व ही उनका विवाह श्री कृष्णास्वामी अय्यर की पुत्री लोक सुन्दरी से हुआ (चित्र-2 में रामन अपनी पत्नी के साथ)।



चित्र-2 (रामन अपनी पत्नी के साथ)।

कहा जाता है कि विवाह-पूर्व जब रामन लोक सुन्दरी से मिले उस समय वे वीणा पर त्यागराज का भजन "रामा जी समाना एवरो" (राम! तुम्हारे समान अन्य कोई भी है) गा रही थीं। रामन, उससे बहुत प्रभावित हुए। उनके व्यक्तिगत आकर्षण, ललित कलाओं में दक्षता और संगीत प्रेम ने रामन को पहली भेंट में ही मोह लिया था। इसलिये रामन को उनके विधिवत शिक्षित न होने पर भी तथा अन्य जाति की होने के बावजूद भी, उनसे शादी करने के लिये प्रेरित किया।

विवाह के बाद लोक सुन्दरी ने आदर्श भारतीय पत्नी के रूप में रामन को उनके वैज्ञानिक कार्यों में (परोक्ष रूप से) बहुत मदद दी। उन सब छात्रों के साथ, जो रामन के पास शोध निर्देशन हेतु आते थे, वे माता के समान व्यवहार करती थीं।

एक दिन रामन कलकत्ते में ट्राम द्वारा डलहौजी स्ववायर से सियालदाह जा रहे थे कि रास्ते में एक भवन पर उन्हें "इंडियन एसोसियेशन फार द कल्टीवेशन आफ साइंस" का बोर्ड लगा दिखाई दिया। रामन तुरन्त ही ट्राम से उतर कर उस भवन की ओर चल पड़े। वहां कलकत्ता विश्वविद्यालय के कुलपति आशुतोष मुखर्जी और एसोसियेशन के सेक्रेटरी डा. अमृतलाल सरकार से उनकी मुलाकात हुई। इसके बाद रामन एसोसियेशन की प्रयोगशाला में नियमित रूप से जाने लगे।

तीन वर्ष कलकत्ता में रहने के बाद रामन का स्थानांतरण रंगून हो गया। रंगून में उनको एक दिन पता चला कि पास के एक स्कूल के पुस्तकालय में कुछ नये वैज्ञानिक उपकरण आये हैं। वह उन उपकरणों को देखने का लोभ संवरण न कर सके और आधी रात को ही उठकर "इनसिन" स्कूल पहुंच गये।

रंगून में रामन कुछ दिन ही रहे थे कि मद्रास में उनके पिता श्री चन्द्रशेखर अय्यर का स्वर्गवास हो गया। अतः श्री रामन 6 महीने की छुट्टी लेकर रंगून से मद्रास आ गये। इस अवधि में भी वह प्रेसीडेंसी कालेज की प्रयोगशाला में निरन्तर प्रयोग करते रहे। और कालेज के पुस्तकालय में विज्ञान की पुस्तकें लाकर पढ़ते रहे। छुट्टियां समाप्त होने पर रामन का स्थानांतरण रंगून से नागपुर हो गया। अतः मद्रास से सीधे ही वह नागपुर आ गये। नागपुर में 14 महीने रहने के बाद रामन की पदोन्नति हुई और वह डाक व तार विभाग के एकाउण्टेंट जनरल बनकर कलकत्ता पहुंच गये।

उदार हृदय :

रामन कितने उदार हृदय व्यक्ति थे। इसका उदाहरण नागपुर की ही एक घटना से मिलता है। एक किसान को अपनी फसल बेचने से कुछ-सौ रुपये प्राप्त हुये थे। किसान के घर में आग लग जाने के कारण नोटों की गड्डी भी आग में झुलस गई। किसान जले हुये नोटों को लेकर एकाउण्टेंट जनरल, रामन के पास पहुंचा। रामन ने नोटों की जांच करके तुरन्त ही जले हुये नोटों के बदले नये नोट देने का आदेश जारी कर दिया।

इंडियन एसोसियेशन आफ कल्टीवेशन आफ साइंस की प्रयोगशाला में उनके एकमात्र सहयोगी थे आशुतोष डे। आशुतोष ने किसी विश्वविद्यालय में विधिवत शिक्षा नहीं ली थी। इसके बावजूद वे शोध कार्यों में रामन की बहुत सहायता करते थे।

जिस दौरान, रामन का एसोसियेशन से संबंध रहा उसमें उन्होंने लगभग तीस शोध पत्र प्रकाशित किये। उनमें से अधिकांश में आशुतोष डे उनके सहलेखक थे। रामन को एक शोध पत्र, जो **प्रोसीडिंग्स आफ रॉयल सोसायटी** में प्रकाशित हुआ था, बहुत पसंद था। आशुतोष डे उसके भी सहलेखक थे।

जर्मन वैज्ञानिक हेल्महोल्त्ज (1821-1891) तथा ब्रिटिश वैज्ञानिक लार्ड रैले (1842-1919) के ध्वनि विषयक अध्ययन कार्य से रामन बहुत प्रभावित थे।

इस दौरान उनके अनुसंधान के प्रमुख विषय थे ध्वनिकी और प्रकाशिकी। ध्वनिकी के क्षेत्र में भारतीय वाद्यों में उनकी विशेष रुचि थी। उन्होंने गज से बजाये जाने वाले, मिजराब से बजाये जाने वाले, वाद्यों: तथा वीणा, वायलिन, मंदगम जैसे वाद्यों पर शोध किये। उन्होंने पाया कि भारतीय तालवाद्यों में खाल से निकलने वाले असमान स्वर अधिस्वरों को पैदा करते हैं। इससे वे तार वाद्यों के समान ही कार्य करते हैं। साथ ही उन्होंने पाया कि वीणा की घुणक इस तरह बनायी जाती है कि वह संगीत के असंख्य अधिस्वर पैदा कर सके। वह मानव स्वर से मिलती जुलती ऐसी आवाज निकाल सकती है जो 16 हार्मोनिक तक अधिस्वर पैदा कर सकती है।

इसी दौरान उन्होने प्रकाश के विप्लेषण से संबंधित शोध पत्र प्रकाशित किये।

पालित प्रोफेसर :

कुछ ही दिनों बाद वर्ष 1917 में रामन ने एकाउण्टेंट जनरल के पद से त्यागपत्र दे दिया क्योंकि उन्हें कलकत्ता विश्वविद्यालय में भौतिकी विभाग में 'सर तारक नाथ पालित प्रोफेसर' बनाने का प्रस्ताव प्राप्त हुआ था। यद्यपि पालित प्रोफेसर का वेतन एकाउण्टेंट जनरल के वेतन से लगभग आधा ही था तो भी विज्ञान के प्रति प्रेम के कारण रामन ने यह प्रस्ताव स्वीकार कर लिया। इस समय उनकी आयु केवल 25 वर्ष की थी।

यह पद स्वीकार करने के संबंध में कलकत्ता विश्वविद्यालय के तत्कालीन कुलपति सर आशुतोष मुखर्जी ने कहा था "सर तारकनाथ पालित द्वारा सृजित भौतिकी की पालित चेयर के लिये डा. चन्द्रशेखर वेंकटरामन को पाकर हम अपने आपको बड़ा भाग्यशाली मानते हैं। श्री रामन की ख्याति एक भौतिकीविद् के रूप में विश्व में फैल चुकी है। श्री रामन ने अत्यधिक विपरीत परिस्थितियों में अपनी सरकारी ड्यूटी पूरी करते हुये भी विशिष्ट वैज्ञानिक अध्ययन किये हैं। मैं श्री रामन की हृदय से प्रशंसा करता हूँ, विशेष रूप से उनके उत्साह और उनके त्याग की भावना के लिये जो कि उन्होंने विज्ञान के लिये सरकार का पद त्याग करके दिखायी है।

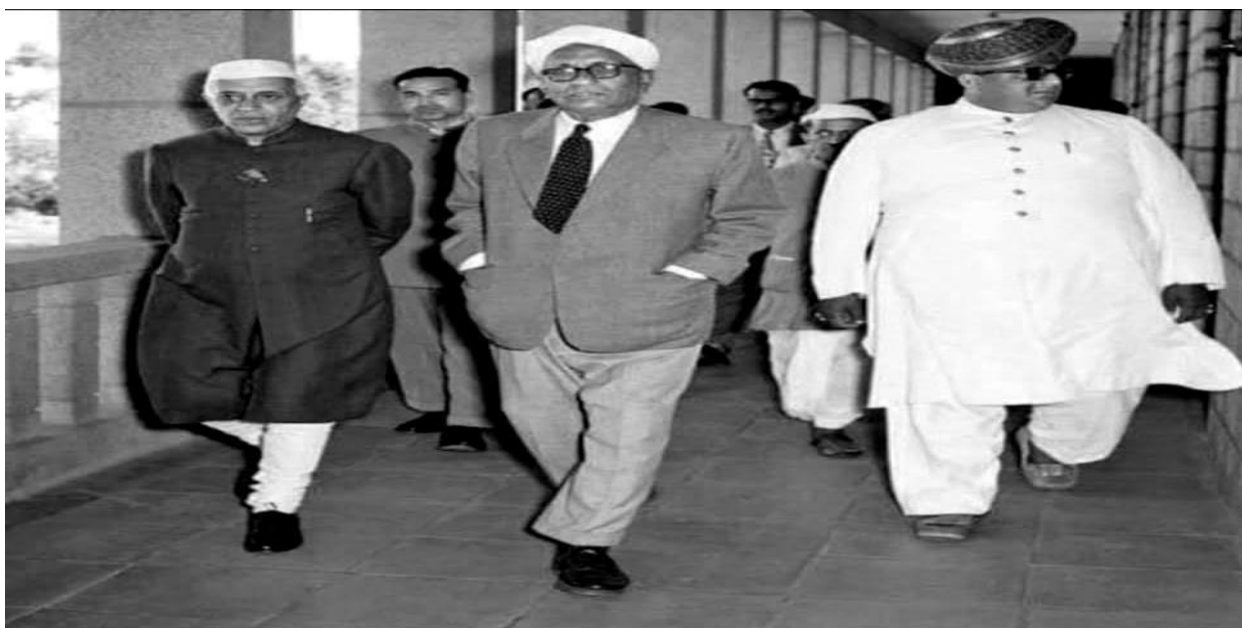
मुझे विश्वास है कि उन्होंने जो उदाहरण प्रस्तुत किया है वह अनेक वैज्ञानिकों को प्रेरित करता रहेगा।" इंडियन एसोसियेशन फार द कल्टीवेशन आफ साइंस के साथ 1907 से ही उनका घनिष्ठ संबंध था। 1919 में श्री अमृतलाल सरकार का देहावसान हो गया और प्रोफेसर रामन एसोसियेशन के मानद सचिव चुन लिये गये। इस तरह प्रोफेसर रामन को अनुसंधान करने के लिये 210, बो बाजार स्ट्रीट और विश्वविद्यालय दोनों की प्रयोगशालाओं पर पूरा नियंत्रण प्राप्त हो गया

विश्वविद्यालय में शोध कार्य के अतिरिक्त वे अध्यापन भी करते थे। उनके भाषण बहुत ही स्पष्ट होते और उनमें केवल पाठ्य पुस्तकों की सामग्री ही नहीं होती थी। उन भाषणों ने बहुत से छात्रों को आकर्षित किया। उन्होंने एसोसियेशन के भवन के साथ जुड़ा एक भवन किराये पर लिया। अपने काम को और सुगम करने के लिये उन्होंने दोनों भवनों को अलग करने वाली दीवार को तुड़वा दिया और घर से प्रयोगशाला को जोड़ने के लिये एक दरवाजा लगवा दिया। इस व्यवस्था के बाद वे दिन-रात किसी भी समय प्रयोगशाला में पहुंच जाते थे। बहुत से युवा छात्र रिसर्च स्कालर के रूप में उनके पास जमा हो गये। शुरू-शुरू में तो ये छात्र कलकत्ता विश्वविद्यालय से ही आये थे, लेकिन बाद में जैसे-जैसे नाम फैलता चला गया,

भारत के दूर-दूर के भागों से भी शोध छात्र आकर जमा हो गये (चित्र-3अ,3ब)। उन दिनों सामान्यतः रिसर्च फेलोशिप उपलब्ध नहीं थी और अगर थी भी तो राशि बहुत थोड़ी होती थी। इसलिये अधिकांश छात्र बिना सुख-सुविधाओं के रहते थे। वे प्रयोगशाला के किसी कोने में अपना बोरिया-बिस्तर लगा लेते और बाहर खाना खाते। रात को प्रयोगों के बीच वे थोड़ी नींद ले लेते। उनकी सारी रुचि उस वैज्ञानिक कार्य में थी जो वे सच्चे आचार्य, प्रोफेसर रामन, के प्रेरणादायक मार्गदर्शन में कर रहे थे। रामन आचारातीत आचार्य थे। उनकी कथनी और करनी में कोई अन्तर नहीं था। उनके विचार ऊँचे थे और रहन-सहन सीधा-सादा।



चित्र-3 अ (अपने शोध छात्रों के साथ, ये चित्र सन्दर्भ संख्या 8 से लिया गया है)



चित्र-3 ब (रामन, शोध छात्र व पं० नेहरू)

उच्च कोटि की प्रयोगशाला :

उन दिनों एसोसियेशन की प्रयोगशाला में उच्चकोटि के अनुसंधान किये गये परन्तु वहाँ सुविधाओं का बहुत अभाव था। उपकरण कम थे और अनुसंधानकर्ता ज्यादा। इसलिये उन्हें बारी-बारी से एक ही उपकरण से काम करना पड़ता था (चित्र-4)। रामन बहुत सुबह ही प्रयोगशाला पहुंच जाते थे और रात देर तक वहीं रहते थे। बीच-बीच में थोड़ा समय जलपान या भोजन के लिये निकाल लेते थे। रात को खाने के बाद फिर से प्रयोगशाला में पहुंच जाना एक आम बात थी। उस समय उन्हें विज्ञान के क्षेत्र से बाहर किसी भी विषय में कोई रुचि नहीं थी। उनका यह अथक परिश्रम शीघ्र ही फलीभूत हुआ। इंडियन एसोसियेशन फार दि कल्टीवेशन ऑफ साइंस की प्रयोगशाला शीघ्र ही वैज्ञानिक कार्यों के लिये भारत में ही नहीं वरन् विश्व भर में उच्च कोटि की प्रयोगशाला बन गई। एसोसियेशन के वैज्ञानिकों के शोध पत्र संसार की प्रसिद्ध वैज्ञानिक पत्रिकाओं में प्रकाशित होने लगे जिन क्षेत्रों में ठोस प्रगति हुई वे थे संगीत वाद्यों का सिद्धांत, तरंग प्रकाशकी और प्रकाश का आप्ठिक प्रकीर्णन (मोलीक्यूलर स्कैटरिंग आफ लाइट)। बाद में प्रकाश के आप्ठिक प्रकीर्णन पर अत्यंत

महत्वपूर्ण और अभूतपूर्व अनुसंधान करने के लिये प्रोफेसर रामन को नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया^१।

पालित प्रोफेसर नियुक्त किये जाने वाले व्यक्ति के लिये दानी महोदय ने एक शर्त यह रखी थी कि नियुक्त व्यक्ति विदेश से प्रशिक्षित होना चाहिये। चूंकि प्रोफेसर रामन प्रशिक्षण के लिये इंग्लैंड नहीं जाना चाहते थे, इसलिए महान प्रशासक सर आशुतोष ने वृत्तिदान की व्यवस्था में संशोधन कर दिया। फिर भी 1921 में उन्होंने प्रोफेसर रामन को उस वर्ष आक्सफोर्ड में होने वाली विश्वविद्यालय कांग्रेस में प्रतिनिधि के रूप में जाने के लिये तैयार कर ही लिया। इस समय तक प्रोफेसर रामन के ध्वनि और प्रकाश विषयक कई वैज्ञानिक पत्र प्रकाशित हो चुके थे और इंग्लैंड तथा यूरोप के वैज्ञानिक क्षेत्रों में लोग उनके नाम और काम से परिचित भी हो चुके थे और उसकी सराहना करते थे। इस यात्रा में उनकी भेंट भौतिकविद् जे.जे. थामसन, रदरफोर्ड और डब्लू.एच. ब्रेग से हुई।

उन्होंने मि. सदरलैंड के सहयोग से कुछ प्रयोग किये और लौटने से पहले खोजों का विवरण दो वैज्ञानिक पत्रों के रूप में प्रकाशित किया – एक नेचर में और दूसरा प्रोसीडिंग्स ऑफ द रॉयल सोसाइटी में।



चित्र-4 (ये चित्र सन्दर्भ संख्या 8 से लिया गया है)

आकाश की नीलिमा :

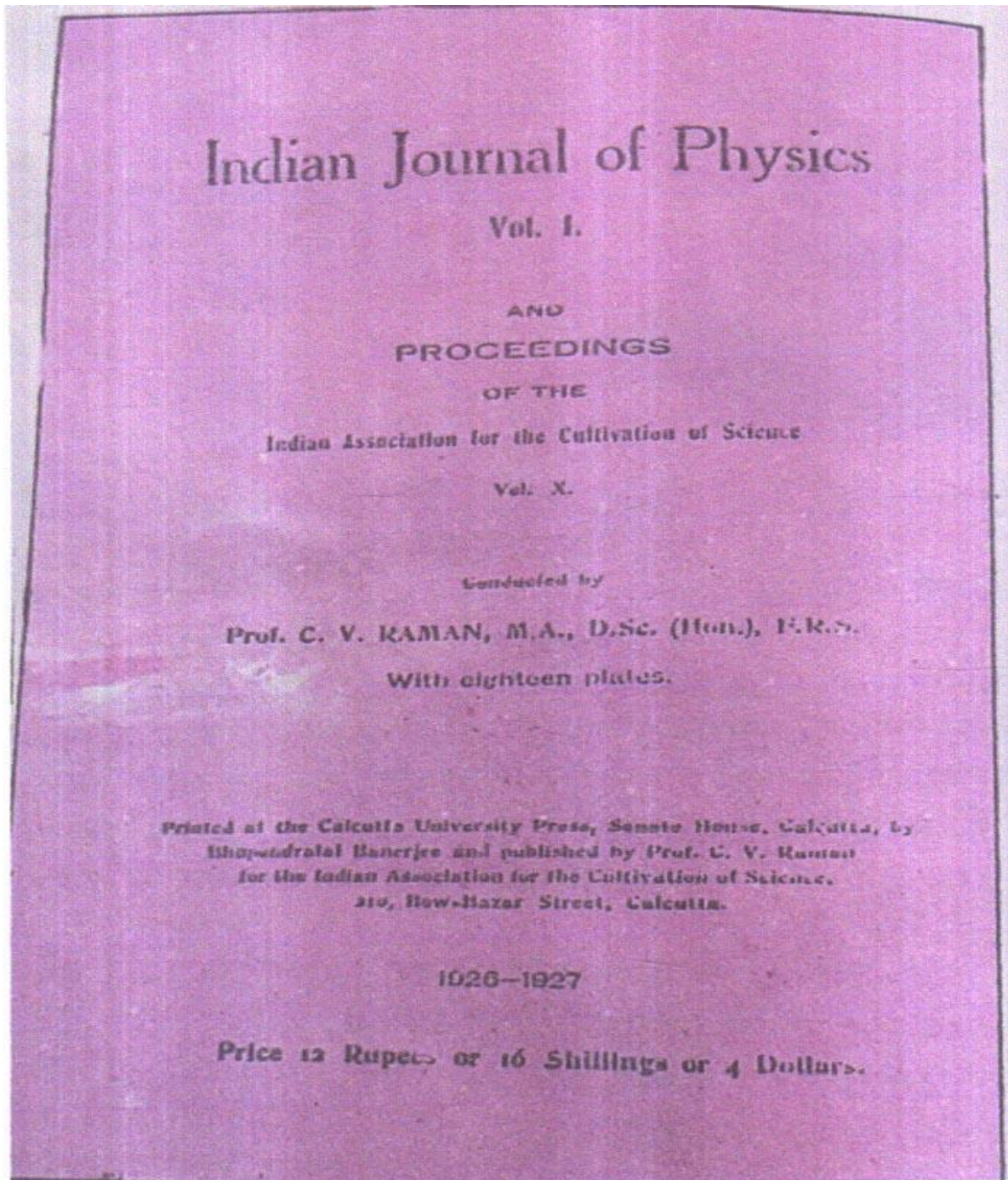
इस यात्रा में प्रोफेसर रामन ने अपनी आंखों से भूमध्यसागर का गहरा नीला रंग देखा। इसे देखकर उन्हें उस आश्चर्य की फिर याद आई जो उन्हें बचपन में हुआ करता था। लार्ड रैले ने आकाश की नीलिमा की व्याख्या इस प्रकार की थी कि वह वायुमंडल में वर्तमान आक्सीजन और नाइट्रोजन के अणुओं द्वारा सूर्य के प्रकाश के प्रकीर्णन के कारण होती है। उन्होंने समुद्र के गहरे रंग की व्याख्या इन सीधे-सादे शब्दों में की थी: "गहरे समुद्र के गहरे नीले रंग का कारण है आकाश की नीलिमा का अक्स।" रामन को यह व्याख्या संतोषजनक नहीं लगी। लौटते हुए वे अपने साथ एक ध्रुवक (पोलराइजर) प्रिज्म लेते आये। उनका ख्याल था कि अभिविन्यस्त प्रिज्म में आकाश की नीलिमा घट जायेगी तो समुद्र की सफेदी साफ दिखाई देने लगेगी, लेकिन प्रोफेसर रामन ने पाया कि ऐसा हुआ नहीं, समुद्र की नीलिमा अब भी चमक रही थी। इसका मतलब साफ था कि वह नीलिमा पानी के भीतर से आ रही है। तब प्रोफेसर रामन ने लिखा:

"मुझे यूरोप यात्रा में भूमध्यसागर का अद्भुत नीला रंग देखने का अवसर प्राप्त हुआ। यह बात असंगत नहीं लगी कि यह चमत्कार जलकणों द्वारा सूर्य के प्रकाश के प्रकीर्णन के कारण घटता है। इस व्याख्या की परीक्षा के लिये यह उचित ही था कि तरल पदार्थों में प्रकाश का विस्तार करने वाले नियमों की जांच की जाये। इसी उद्देश्य से सितम्बर 1921 में, कलकत्ता आते ही, प्रयोग शुरू किये गये। शीघ्र ही यह स्पष्ट हो गया कि जिस उद्देश्य के लिये ये प्रयोग किये गये हैं, उनका उस उद्देश्य से अधिक महत्व है। इसमें खोज का क्षेत्र असीम है। ऐसा लगा कि प्रकाश प्रकीर्णन का अध्ययन शायद भौतिकी और रसायनविज्ञान की गहन समस्याओं में ले जाये। यही वह विश्वास था जिसने इस विषय को कलकत्ता लौटने पर हमारी गतिविधियों का प्रमुख विषय बना दिया।"

कलकत्ता लौटने पर प्रोफेसर रामन ने तुरन्त तीन पक्षीय अनुसंधान शुरू किया: तरल पदार्थों द्वारा प्रकाश का प्रकीर्णन, तरल पदार्थों द्वारा एक्स-रे का प्रकीर्णन और तरल पदार्थों की श्यानता।

प्रयोगों में उन्होंने पाया कि जब किसी पारदर्शी माध्यम (ठोस द्रव अथवा गैस) पर मरकरी आर्क लैम्प का प्रकाश डाला जाता है और उससे प्रकीर्ण प्रकाश को यदि एक स्पेक्ट्रोग्राफ की सहायता से परखा जाये तो उसके वर्णक्रम में कुछ नई रेखाएं दिखाई देती हैं जो मूल रेखाओं से भिन्न होती हैं। रामन ने इस संबंध में बंगलौर में 16 मार्च, 1928 को साउथ इंडियन एसोसियेशन की सभा में अपने विचार प्रस्तुत किये। रामन की इस प्रकाश प्रकीर्णन संबंधी खोज का महत्व जर्मन वैज्ञानिक प्रिंगशइम ने पहचाना और उन्होंने प्रकाश प्रकीर्णन की इस घटना को "रामन प्रभाव" का नाम दिया।

रामन को 1924 में लंदन की रॉयल सोसाइटी का फ़ैलो बनाया गया। उसी वर्ष उन्होंने भारत में इंडियन साइंस कांग्रेस की भी स्थापना की और कुछ वर्ष तक उसके सचिव के रूप में भी कार्य किया। 1925 में रूसी वैज्ञानिक अकादमी के दूसरे शताब्दी समारोह में भाग लेने के लिये रामन मास्को गये। वहाँ उन्होंने जर्मनी, स्विट्जरलैण्ड तथा इटली में भौतिकी के क्षेत्र में हुई प्रगति का अध्ययन किया। 1926 में रामन ने एक वैज्ञानिक पत्रिका **इंडियन जरनल फॉर फिजिक्स** का प्रकाशन प्रारंभ किया (चित्र-5)। इसी बीच जर्मन फिजिकल सोसाइटी ने प्रो. रामन से अनुरोध किया कि वे सोसाइटी द्वारा प्रकाशित की जाने वाली पुस्तक "**हैंड बुक आफ फिजिक्स**" के लिये संगीत वाद्यों पर एक लेख इस पुस्तक में प्रकाशन के लिये दें। रामन ने भारतीय संगीत वाद्यों और विशेष रूप से वीणा तथा मृदंग के ध्वनि-वैज्ञानिक पहलुओं पर एक लेख लिखा⁴। सन् 1930 में रामन प्रभाव की खोज के लिये रामन को नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया। वह एशिया के प्रथम व्यक्ति थे जिन्हें यह सम्मान मिला।



चित्र-5 (प्रथम अंक का कवर पृष्ठ)

कलकत्ता विश्वविद्यालय के साइंस कालेज में 15 वर्ष तक पालित प्रोफेसर के पद पर कार्य करने के उपरान्त रामन इंडियन इंस्टीट्यूट ऑफ साइंस, बंगलौर के निदेशक बने। फिर 1948 में रामन रिसर्च इंस्टीट्यूट की स्थापना हुई जिसके वह

निर्देशक बने। कालान्तर में उन्होंने मैक्स बार्न जैसे अनेक वैज्ञानिकों को इण्डियन इंस्टीट्यूट ऑफ साइंस बंगलौर में आमन्त्रित किया था। मैक्स बार्न के साथ उनका एक चित्र (चित्र-6)



चित्र-6 (ये चित्र सन्दर्भ संख्या 9 से लिया गया है)

रामन के शिष्य :

भारत के सभी उच्च कोटि के वैज्ञानिक रामन के संपर्क में रहे। डॉ० होमी भाभा और डा. विक्रम साराभाई उनके प्रमुख शिष्यों में थे। इनके अलावा डा. के. एस. कृष्णन जो राष्ट्रीय भौतिकीय प्रयोगशाला के निदेशक रहे, प्रोफेसर एस. भगवन्तम जो भारत सरकार के रक्षा मंत्रालय के वैज्ञानिक सलाहकार थे, प्रो० आर० रामनाथन जो भौतिकी अनुसंधान प्रयोगशाला अहमदाबाद के निदेशक थे, प्रो० पी० नीलकान्तम जो राष्ट्रीय वैमानिक प्रयोगशाला के प्रथम निदेशक थे तथा सुविख्यात वैज्ञानिक प्रो० एस. चन्द्रशेखर, डा. रामन के अन्य प्रमुख शिष्यों में से हैं।

सम्मान :

स्वतंत्रता प्राप्ति के बाद जब भारत में वैज्ञानिक कौशल को बढ़ावा देने के लिये नेशनल रिसर्च प्रोफेसरशिप प्रदान करने का निर्णय लिया गया तो रामन देश के प्रथम नेशनल रिसर्च प्रोफेसर बनाये गये।

प्रोफेसर रामन को जो अनेकानेक सम्मान तथा पदक मिले इनमें से कुछ प्रमुख हैं: इटैलियन साइंस काउंसिल द्वारा 1928 में दिया गया मटुची पदक, जार्ज पंचम द्वारा 1929 में प्रदान की गई नाईट की उपाधि, लन्दन की रायल साइंस द्वारा 1930 में दिया गया ह्यूज पदक और उसी वर्ष फ्रीबर्ग विश्वविद्यालय द्वारा पी-एच.डी तथा ग्लासगो विश्वविद्यालय द्वारा एल.एल.डी. की उपाधि और 1932 में पेरिस विश्वविद्यालय द्वारा डाक्टर आफ साइंस की उपाधि। इनके अलावा बम्बई, मद्रास, बनारस, ढाका तथा अन्य अनेक

विश्वविद्यालयों ने भी डाक्टरेट की उपाधि से सम्मानित कर आपको गौरवान्वित किया। रामन अनेक अन्तरराष्ट्रीय वैज्ञानिक संगठनों के सदस्य थे जिनमें से कुछ प्रमुख हैं— जर्मन अकादमी म्यूनिख, द फिजिकल सोसाइटी ज्यूरिख, द रॉयल फिलासाफिकल सोसाइटी ग्लासगो, द रॉयल अकादमी आफ आयरलैंड, साइंस अकादमी आफ हंगरी, अकादमी आफ साइंसेज पेरिस।

1951 में फिलाडेल्फिया इंस्टीट्यूट आफ अमेरिका में डॉ. रामन को फ्रैंकलिन पदक से सम्मानित किया गया। भारत का सर्वोच्च सम्मान 'भारत रत्न' भारत सरकार ने उन्हें सन् 1954 में प्रदान किया। इसके बाद सोवियत संघ ने 1957 में उन्हें अन्तरराष्ट्रीय लेनिन पुरस्कार से सम्मानित किया।

उपसंहार :

प्रो० रामन विज्ञान की ही अपना धर्म मानते थे और उसी की भक्ति एवं साधना में वह लीन रहते थे। डॉ. चन्द्रशेखर वेंकट रामन न केवल भारत के प्रथम 'भारत रत्न' थे वल्कि भारत में आधुनिक विज्ञान के जनक भी थे। प्रो० रामन की प्रतिभा बहुमुखी थी। वह वैज्ञानिक, चिन्तक, दार्शनिक और कवि सबकुछ एक साथ थे। उससे भी अधिक वह जन-जन में विज्ञान के प्रसार के समर्थक थे। उच्च शोध कार्यों के परिणामों को भी बहुत सरल भाषा और सुन्दर शैली में प्रस्तुत करने की उनकी क्षमता अद्वितीय थी।

ऐसे महान वैज्ञानिक डॉ. चन्द्रशेखर वेंकट रामन 83 वर्ष की आयु में शनिवार 21 नवम्बर, 1970 की रात में ब्रह्मलीन

हो गये। भारतीय विज्ञान को अन्तरराष्ट्रीय ख्याति दिलाने में डॉ. रामन का जो अद्वितीय योगदान रहा इसके लिए देश सा उनका ऋणी रहेगा।

संदर्भ ग्रंथ सूची (Bibliography/References)

1. भारतीय भौतिक विज्ञानी – भगवंत सूरी (1971) – रॉयल सोसाइटी के फेलो की जीवनी सम्बन्धी संस्मरण/17 :564–592. doi:10.1098/rsbm/rsbm. 1971.0022
2. सिंह, राजिंदर, रीस, फाल्क, सर सी० वी० रमन और नोबेल पुरस्कार की कहानी, 1995, Digital Repository e- संग्रह, <http://dspace.rii.res.in/handle/2289/5634>
3. अमेरिकन केमिकल सोसायटी इंटरनेशनल हिस्टोरिक केमिकल लैंडमाक्स, रमन प्रभाव
<http://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/ramaneffect.html>
4. Musical Instruments and their tones: Handbuch der Physik (Vol. VIII, 1927).
5. Proc. A (1929) 122 (789) 23-25, <https://doi.org/10.1098/rspa. 1929.0002>
6. <https://www.britanica.com/biography/C-V-Raman>
7. Raman spectroelectrochemistry from India to Spain: History and applications | Metrohm
8. <https://caravanmagazine.in/reviews-essays/unequal-eminences>
9. History | About IASc | Indian Academy of Sciences
https://www.ias.ac.in/About_IASc/History/?lang=English

ई-विज्ञानम



फरवरी 2026 अंक

ई-विज्ञानम

e-Vigyanam

एक अंतर्विषयक मासिक विज्ञान पत्रिका

मुक्तज्ञानम पब्लिकेशन
एम० आई० जी० -२७, गौतम विहार कॉलोनी, तारामंडल, गोरखपुर
उत्तर प्रदेश, भारत-२७३०१७

वेबसाइट: <https://muktagyanam.com>

द्वारा संचालित: श्रीमती जाह्नवी सिंह
ई-मेल: admin@muktagyanam.com