

# KARNATAKA PHYSICS ASSOCIATION (R)

(Reg. No. DRB2/SOR/210/2021-2022)

**Website:** [karnatakaphysicsassociation.in](http://karnatakaphysicsassociation.in)

**KPA NEWSLETTER 5**

**November 2024**

## **Editors**

Prof. B. A.Kagali (Managing Editor)

Prof.Somashekar Sidiginamale

Prof.P. Nagaraju

Prof. S. P Basavaraju

Prof. M. R. Nandan



## From the Editors

The much-awaited Nobel Prize in physics for the year 2024 was announced on October 9<sup>th</sup> in Sweden. Two scientists – one American and another Canadian were jointly awarded this year's prize for their contributions to the development of Artificial Intelligence based on physical principles. We have a brief report on the award as stated by the Nobel prize Committee in their press release.

Two articles, giving an account of the application of AI in various contexts including that in physics teaching follow the press release. Werner Heisenberg is well known as one of the founders of modern quantum mechanics in the third decade of the last century. In particular, his discovery of the uncertainty principle for conjugate variables forms a cornerstone of quantum mechanics. An article about that finds a place next.

Nowadays, the unusual properties of entanglement and superposition of quantum states have been exploited in developing new applications called quantum technologies. A brief description of such technologies is given in the next article. While drones play ever-increasing roles in our lives we don't know much about their design and working. There is an article about the basic physical principles that play a role in the working of drones is given in the next article- leaving out the technologies that go with the principles.

We are all concerned and affected by the increasing levels of air, water and pollution that are happening due to various reasons – mostly man-made—everywhere. The next article tells us about some measures taken by our governments to address them. As we are keen to introduce Kannada in higher education, but lacking in resources besides facing practical problems, the next article discusses Fluid Dynamic principles in Kannada. It is high time that our educationists seriously think about introducing Indian languages in higher education in the interest of effective communication between students and teachers. Self-reliance in science ultimately means using native languages in education! There are two interesting articles on astrophysical topics – runaway stars and the James Webb space telescope in Kannada. There is a need to introduce more astrophysical topics in our school and college curricula as that subject is developing fast with the availability of advanced technologies.

Innovative experiments are needed at school and college levels for students. Two, really low-cost, innovative experiments that can be performed in colleges are described in this issue.

Our regular features like the webinars held and academic activities of KPA members (from September 21 to the end of October) are listed in this newsletter.

We appeal to KPA members to contribute articles, anecdotes, innovative experiments as well as any other write-ups that may interest physics students and teachers for the forthcoming issues.

The editors thank Mrs. Muktha B. Kagali for designing the newsletter, free of cost, at a short notice.

## Contents

1.	The Nobel Prize in Physics 2024	4
2.	Application of AI and machine learning to different areas of physics	5
3.	Revolutionizing Physics Education: How AI is Changing the Game	7
4.	Max Planck- the Originator of Quantum Theory	10
5.	Heisenberg's Way of Thinking	14
6.	Quantum Technologies in Defence & Security	18
7.	The Basic Physics of drones	24
8.	Pollution of Air, Water and Land in India	26
9.	ತರಲ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರ / ತರಲಶಾಸ್ತ್ರ / ತರಲ ಬಲವಿಜ್ಞಾನ – ಒಂದು ಪಕ್ಷಿನೋಟ	29
10.	ಪಲಾಯನವಾದಿ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು	39
11.	ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕ- ಕಂಡೀತೇ ಜಗದ ಜಾತಕ?	44
12.	Determining the Force Constant of a Spring	52
13.	Determining Air Resistance using a Simple Pendulum	54
14.	List of webinars conducted	57
15.	Activities of KPA members	58

## The Nobel Prize in Physics 2024

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Physics 2024 to **John J Hopfield** (Princeton University, USA) and **Geoffrey E Hinton** (University of Toronto, Canada). This year's two Nobel Laureates in Physics have used tools from physics to develop methods that are the foundation of today's powerful machine learning.

John Hopfield created an associative memory that can store and reconstruct images and other types of patterns in data. Geoffrey Hinton invented a method that can autonomously find properties in data, and perform tasks such as identifying specific elements in pictures. We often mean machine learning using artificial neural networks when discussing artificial intelligence. The structure of the brain originally inspired this technology. In an artificial neural network, the brain's neurons are represented by nodes that have different values. These nodes influence each other through connections that can be likened to synapses and which can be made stronger or weaker. The network is trained, for example by developing stronger connections between nodes with simultaneously high values.

This year's laureates have conducted important work with artificial neural networks from the 1980s onward.

**John Hopfield** invented a network that uses a method for saving and recreating patterns. We can imagine the nodes as pixels. The Hopfield network utilises physics that describes a material's characteristics due to its atomic spin – a property that makes each atom a tiny magnet. The network as a whole is described in a manner equivalent to the energy in the spin system found in physics and is trained by finding values for the connections between the nodes so that the saved images have low energy. When the Hopfield network is fed a distorted or incomplete image, it methodically works through the nodes and updates their values so the network's energy falls. The network thus works stepwise to find the saved image that is most like the imperfect one it was fed with.

**Geoffrey Hinton** used the Hopfield network as the foundation for a new network that uses a different method: the Boltzmann machine. This can learn to recognise characteristic elements in a given type of data. Hinton used tools from statistical physics, the science of systems built from many similar components. The machine is trained by feeding it examples that are very likely to arise when the machine is run. The Boltzmann machine can be used to classify images or create new examples of the type of pattern on which it was trained. Hinton has built upon this work, helping initiate the current explosive development of machine learning.

“The laureates’ work has already been of the greatest benefit. In physics we use artificial neural networks in a vast range of areas, such as developing new materials with specific properties,” says Ellen Moons, Chair of the Nobel Committee for Physics.

John J. Hopfield, born 1933 in Chicago, IL, USA. PhD 1958 from Cornell University, Ithaca, NY, USA. Professor at Princeton University, NJ, USA.

Geoffrey E. Hinton, was born 1947 in London, UK. PhD 1978 from The University of Edinburgh, UK. Professor at University of Toronto, Canada.

# Application of AI and machine learning to different areas of physics

H.D. Ananda, Former Group Director SPROC Systems, MCF, ISRO

## 1. Data Analysis

- **Pattern Recognition:** ML algorithms can identify patterns in large datasets, such as those from particle accelerators or astrophysical observations.
- **Anomaly Detection:** In high-energy physics, AI can help identify rare events, like potential signs of new particles, by distinguishing them from background noise.

## 2. Simulation and Modelling

- **Surrogate Models:** ML can create approximations of complex physical models, allowing faster simulations, which is particularly useful in areas like fluid dynamics and cosmology.
- **Generative Models:** These can be used to simulate physical systems, enabling researchers to generate realistic data for training models.

## 3. Experimental Design

- **Optimization:** AI can optimize experimental setups and parameters, improving the efficiency of experiments and reducing costs.
- **Automated Data Collection:** Machine learning can streamline data acquisition processes, allowing for real-time analysis and adaptive experiments.

## 4. Theoretical Physics

- **Pattern Discovery:** AI can assist in uncovering new theoretical models by analysing existing data and exploring relationships that might not be immediately evident.
- **Symbolic Regression:** This method can help find underlying equations governing physical phenomena from data without requiring pre-defined models.

## 5. Astrophysics and Cosmology

- **Image Analysis:** Deep learning techniques are used to process and analyse images from telescopes, such as identifying celestial bodies or classifying galaxy types.
- **Gravitational Wave Detection:** Machine learning plays a key role in the analysis of signals from gravitational waves, helping to filter noise and improve detection rates.
- **Galaxy Classification:** Deep learning models analyze images from telescopes to classify galaxies based on morphology, significantly speeding up the process compared to manual classification.

## 6. Quantum Computing

- **Quantum Machine Learning:** Exploring how quantum algorithms can enhance machine learning tasks, potentially leading to breakthroughs in optimization and simulation.
- **Quantum State Recognition:** AI methods help in identifying quantum states and optimizing quantum circuits, enhancing the performance of quantum computers.
- **Quantum Error Correction:** Machine learning algorithms assist in detecting and correcting errors in quantum computations.

## 7. Interdisciplinary Applications

- **Material Science:** AI is used to predict the properties of new materials, aiding in the discovery of superconductors and other advanced materials.
- **Biophysics:** ML techniques help analyze complex biological data, such as protein folding and interactions.



## 8. Particle Physics

- **Large Hadron Collider (LHC):** Machine learning algorithms are used to analyse collision data, classify events, and identify rare particle interactions (e.g., Higgs boson detection).
- **Anomaly Detection:** Techniques like neural networks help identify unexpected events in vast datasets, improving the chances of discovering new physics.

## 9. Condensed Matter Physics

- **Material Discovery:** ML algorithms predict the properties of new materials by analysing datasets of known compounds, aiding in the search for superconductors and other advanced materials.
- **Phase Transition Analysis:** AI techniques can identify phase transitions in materials by analysing temperature and pressure data.

## 10. Plasma Physics

- **Plasma Turbulence Prediction:** Machine learning models can forecast turbulent behaviour in plasma confinement devices, improving control strategies for fusion reactors

## 11. Computational Physics

- **Simulating Complex Systems:** Surrogate models, built with machine learning, can replace expensive simulations in fields like fluid dynamics, allowing for faster computational analyses.
- **Real-Time Data Analysis:** In experiments, AI can analyse data streams in real time, allowing for adaptive experimental designs.

## 12. Biophysics

- **Protein Folding:** Machine learning models, such as AlphaFold, have made significant advancements in predicting protein structures, which is critical for understanding biological processes.

## 13. Geophysics

- **Seismic Data Analysis:** ML techniques help interpret seismic data for earthquake prediction and oil exploration, enhancing the understanding of geological structures.

## 14. Environmental Physics

- **Climate Modelling:** AI is used to improve climate models by identifying patterns in climate data and predicting future climate scenarios.

## 15. Optics and Photonics

- **Image Analysis:** Deep learning techniques are employed to analyse optical data, improving the identification and classification of various optical phenomena.

\*\*\*\*\*

## Physical Sciences Consortium, Lucknow, UP

Physics education is essential in helping students understand the fundamental principles of the universe. It is a fascinating subject that forms the backbone of many scientific fields. However, learning physics can be challenging, and traditional classroom teaching methods may not always be effective in helping students fully understand complex concepts. This is where Artificial Intelligence (AI) comes in.

AI is transforming the way we learn and understand physics. AI-based tools are now being used to improve the learning experience for students, making it more personalized, interactive, and engaging. From simulations and virtual laboratories to personalized learning plans, AI-based tools are revolutionizing physics education.

In this article, we will explore how AI is changing the game in physics education. We will discuss the limitations of traditional teaching methods, the benefits of AI-based learning tools, and the future of physics education with AI.

### The traditional approach to physics education

The traditional approach to physics education has been used for many years, and while it has some advantages, it has several limitations. Lectures and textbooks may not be enough to engage students and help them understand complex concepts. Here are some of the challenges that students face while learning physics using traditional methods:

1. **Passive learning:** Traditional classroom lectures often involve one-way communication, where students are expected to listen and take notes. This passive learning style can be unengaging, and students may struggle to stay focused.
2. **Lack of personalization:** Students have different learning styles and paces, and traditional teaching methods may not cater to these individual needs. This can lead to a lack of engagement and understanding of the material.
3. **Limited opportunities for experimentation:** Physics involves practical experimentation, but traditional teaching methods often limit this experience. This can make it difficult for students to understand how theoretical concepts apply to the real world.
4. **No immediate feedback:** Students may not receive immediate feedback on their understanding of the material, making it difficult for them to track their progress and identify areas that need improvement.

To overcome these challenges, educators are now turning to AI-based learning tools to enhance the learning experience for students.

### AI-based solutions for physics education

AI is transforming the way we learn and understand physics. AI-based learning tools are designed to personalize the learning experience for students and offer a more engaging and interactive approach to learning. Here are some examples of AI-based solutions used in physics education:

1. **Simulations and virtual laboratories:** AI-based simulations and virtual laboratories can provide students with practical experience and help them visualize complex concepts. These tools allow students to experiment with different scenarios and see how physics principles apply to real-world situations.
2. **Personalized learning plans:** AI can be used to create personalized learning plans that cater to the individual needs of each student. This can help students learn at their own pace and focus on areas that need improvement.
3. **Intelligent tutoring systems:** AI-based intelligent tutoring systems can provide immediate feedback to students, helping them track their progress and identify areas that need improvement. These systems can also adapt to the student's learning style, providing a personalized learning experience.
4. **Natural Language Processing (NLP):** NLP can be used to create interactive chatbots and virtual assistants that can answer students' questions and provide support outside of the classroom.

In conclusion, AI-based learning tools offer a more engaging, personalized, and interactive approach to physics education. These tools can help overcome the limitations of traditional teaching methods and provide students with a more practical and enjoyable learning experience.

### **Advantages of AI-based learning tools in physics education**

AI-based learning tools offer several advantages over traditional teaching methods in physics education. Here are some of the key benefits:

1. **Personalization:** AI-based tools can personalize the learning experience for each student. This can help students learn at their own pace and cater to their individual learning style, making it easier for them to understand and apply complex concepts.
2. **Interactive and engaging:** AI-based simulations and virtual laboratories can provide an interactive and engaging learning experience. These tools allow students to experiment with different scenarios and see how physics principles apply to real-world situations.
3. **Immediate feedback:** AI-based tools can provide immediate feedback to students, helping them track their progress and identify areas that need improvement. This can help students stay motivated and engaged in the learning process.
4. **Accessibility:** AI-based tools can be accessed from anywhere with an internet connection, allowing students to learn at their own convenience. This can be particularly useful for students who may not have access to traditional classroom teaching.
5. **Cost-effective:** AI-based learning tools can be more cost-effective than traditional teaching methods. For example, virtual laboratories can be less expensive than building and maintaining physical laboratories.
6. **Enhancing problem-solving skills:** AI-based tools can also help students develop problem-solving skills by allowing them to experiment and test theories. This can help students think critically and apply their knowledge to real-world situations.

In conclusion, AI-based learning tools offer several advantages over traditional teaching methods in physics education. These tools can provide personalized, interactive, and engaging learning experiences, while also offering immediate feedback and accessibility. With the help of AI, students can learn physics more practically and enjoyably, ultimately improving their understanding and academic performance.



## The Future of Physics Education with AI

As AI technology continues to evolve, the future of physics education looks bright. AI has the potential to transform the way we teach and learn physics, making it more accessible, engaging, and personalized. Here are some potential developments that could shape the future of physics education:

1. **Integration of AI-based tools in the classroom:** AI-based tools can be integrated into traditional classroom teaching, providing an enhanced learning experience for students.
2. **Personalized learning plans:** AI can be used to create personalized learning plans for each student, catering to their individual needs and learning styles.
3. **Virtual and augmented reality:** The use of virtual and augmented reality can provide students with a more immersive and interactive learning experience.
4. **Collaboration and peer learning:** AI can facilitate collaboration and peer learning by connecting students with similar interests and learning styles.

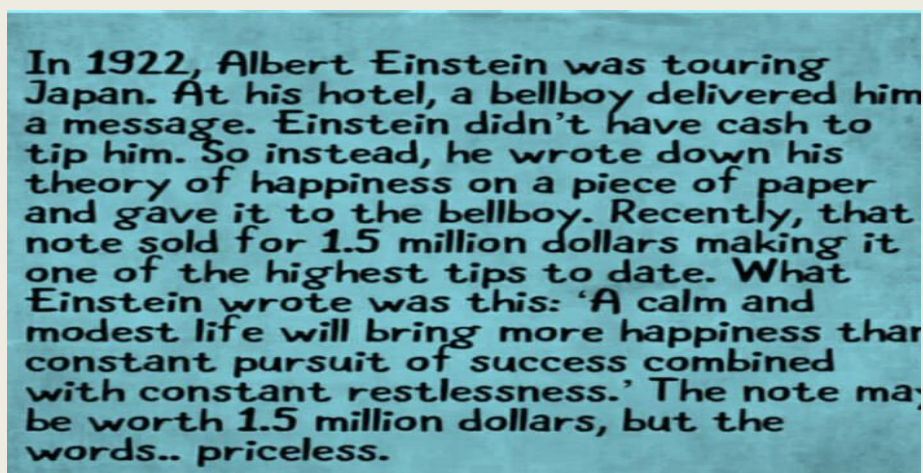
In conclusion, the use of AI in physics education has the potential to transform the way we teach and learn this complex subject. Traditional teaching methods are often limited by the constraints of time and resources, making it challenging for students to fully grasp the complex concepts involved in physics.

AI-based learning tools, however, can offer a more personalized and interactive approach to learning, providing students with immediate feedback, accessibility, and engagement. With the help of AI, students can experiment with complex physics principles in virtual laboratories, enhancing their problem-solving skills and critical thinking abilities.

Furthermore, the future of physics education looks promising with the continued development of AI technology. We can expect to see more integration of AI-based tools in traditional classroom teaching, as well as the development of personalized learning plans, virtual and augmented reality simulations, and collaboration tools.

Overall, the use of AI in physics education is an exciting development that has the potential to revolutionize the way we approach this subject. As educators and learners, we should embrace these new tools and technologies to enhance our understanding and appreciation of the fundamental principles of physics.

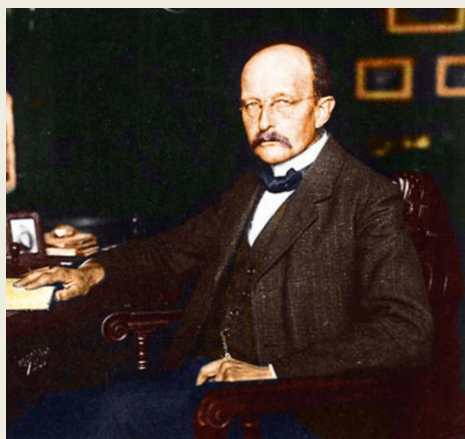
\*\*\*\*\*



In 1922, Albert Einstein was touring Japan. At his hotel, a bellboy delivered him a message. Einstein didn't have cash to tip him. So instead, he wrote down his theory of happiness on a piece of paper and gave it to the bellboy. Recently, that note sold for 1.5 million dollars making it one of the highest tips to date. What Einstein wrote was this: 'A calm and modest life will bring more happiness than constant pursuit of success combined with constant restlessness.' The note may be worth 1.5 million dollars, but the words.. priceless.

# Max Planck- the Originator of Quantum Theory

**Dr. B.S. Srikanta, Academic Advisor, Indian Academy Degree College (Autonomous)  
Principal Grade I (Retd), RBANMs FG College, Former Academic Director and Principal, Surana College,  
Former Professor, Principal and Director, Sindhi College, Bengaluru**



Max Planck (1858-1947) was a well-known German theoretical physicist who made several contributions to theoretical physics, but his fame rests principally on his role as the originator of quantum theory. He is more often referred to as the Father of Quantum Theory. The quantum theory revolutionized our understanding of atomic and subatomic processes. The two theories, Einstein's theory of relativity and Max Planck's quantum theory constitute fundamental theories of 20<sup>th</sup>-century physics that shook the foundations of classical physics (Newton's) which had dominated the world of physics for about two hundred-plus years. Planck's quantum theory, though not

appreciated in the beginning, with its far-reaching effect on classical physics, eventually gained importance as its application accounted for discrepancies between observed phenomena and classical physics. Among these applications, perhaps, Einstein's explanation of the photoelectric effect, proposed in 1905, stands out and paved the way for the universal acceptance of Planck's quantum theory.

## Early life

Max Karl Ernst Ludwig Planck was born in Kiel, Germany on April 23, 1858 to Julius Wilhelm Planck and Emma Patzig. Planck hailed from an intellectual and traditional family. His father was a Professor of Law at the University of Kiel and later in Gottingen. In 1867, the family moved to Munich as his father got the appointment at the University of Munich. Planck was admitted to Maximilian Gymnasium School. His mathematical abilities emerged early and were noticed by his teachers and thus he came under the tutelage of Hermann Muller, a mathematician. Mr. Hermann Muller taught Planck astronomy, mechanics and mathematics, Interestingly, Planck excelled in all the subjects. It is often mentioned that Planck first learned the principle of conservation of energy from Mr. Hermann Muller. Planck graduated at the early age of 17.

Planck was also a gifted musician. He played piano and composed songs. But he passionately chose to study physics instead of music though music remained an integral part of his life. This decision of Planck benefited the subject of physics a lot.

## University Education

Max Planck entered the University of Munich in 1874. He started his scientific career as an experimentalist under the guidance of Philip Van Jolly. Under Van Jolly's supervision, he performed only one experiment namely "Studying the Diffusion of Hydrogen through heated Platinum". Later, he switched over to the study of theoretical physics. It is worth mentioning the example of Wolfgang

Pauli, who also started his scientific career as an experimentalist but switched over to theoretical physics. In 1877, he went to the Friedrich Wilhelms University in Berlin for a year of study with physicists Hermann Helmholtz and Gustav Kirchhoff and mathematician Karl Weierstrass where he chose thermodynamics as his field of study. The law of conservation of energy (essentially the first law of thermodynamics) impressed Planck deeply even when he was a student at the Gymnasium.

In 1878, Max Planck passed the qualifier examination and defended his dissertation on “Second Law of Mechanical Heat Theory” in 1879 (the year of Einstein’s birth). By the age of 22 (1880), Max Planck had obtained two higher academic degrees offered in Europe- a doctorate degree and a Habilitation (highest university degree).

### **Teaching and Research Career**

Despite his remarkable academic achievements, initially, he was appointed as an unpaid Asst. Professor in Munich. But his initial setback did not deter him from continuing research work in the field of heat theory. In 1885, Planck was appointed as Associate Professor of Theoretical Physics at the University of Kiel. He continued his work on entropy and published his “Treatise on Thermodynamics” in 1887. In 1889, he was appointed to the position held earlier by Kirchhoff at Friedrich–Wilhelm’s University in Berlin and by 1892, he became a full-fledged professor of physics. During his tenure at Berlin, he was invited to assume charge as Earnest Kempton Adams Lecturer in theoretical physics at Columbia University in New York. He delivered a series of lectures that marked the beginning of America’s engagement with modern physics. His lectures were translated and co-published by Prof. A.P Wills of Columbia University. He was elected to the American Academy of Arts and Sciences in 1914, the United States National Academy of Sciences in 1926 and the American Philosophical Society in 1933. He retired from Berlin in 1926. During his stay at Berlin University, as stated by Planck himself, he was the only Professor of Theoretical Physics at Friedrich-Wilhelm’s University in Berlin and he was finding it difficult to make people understand the concept of entropy. I quote “In those days, I was essentially the only theoretical physicist there whence things were not so easy for me because I started mentioning entropy, but this was not quite fashionable since it was regarded as a mathematical Spook”.

He started his Six-Semester course on Theoretical Physics. The lectures were well appreciated. I quote one of the Participants John R Partington “Using no notes, never making mistakes, never faltering, best lecturer I have heard”.

### **Entropy**

Entropy, as we have studied in our degree classes, measures the system’s thermal energy per unit temperature that is unavailable for doing useful work ( $dS=dQ/T$ ). Entropy is also a measure of molecular disorder or randomness of a system. The concept of entropy provides insight into the direction of spontaneous change occurring in nature. The introduction of entropy by the German Physicist Rudolf Clausius in 1850 is, perhaps, a highlight of nineteenth-century physics. Clausius used the concept of entropy to state the second law of thermodynamics. The Clausius form of the second law of thermodynamics states that the spontaneous change for an irreversible process in an isolated system always proceeds in the direction of increasing entropy.

Planck was convinced that the entropy law, the second law of thermodynamics was an absolute law of nature.

The second law of thermodynamics was reformulated and the new formulation was, that entropy can be created but never destroyed. Max Planck generalized the applicability of the second law of thermodynamics to all natural processes. Clausius had limited its applicability to reversible processes. Planck dealt comprehensively with the new concept of entropy and argued that entropy is not only a property of a physical system but at the same time a measure of irreversibility of a process. If entropy increases, it is an irreversible process because entropy cannot be reduced according to the second law of thermodynamics. In reversible processes, entropy remains constant. He presented all these facts in a detailed manner in 1887 in a series of treatises titled “On the Principle of Increase of Entropy”. He also realized that the maximum entropy corresponds to the equilibrium state of a system.

### **Black Body Radiation:**

In 1859, Kirchhoff defined a black body as an object that reemits all of the radiant energy incident upon it. In other words, it is a perfect emitter and absorber of radiation. By the 1890s, several investigations, both theoretical and experimental had been made to determine spectral energy distribution. A curve throws light on how much energy is emitted at different wavelengths, in other words,  $E$  as a function of  $\lambda$  for a given temperature of the black body. Notable investigations often referred to are those of Wilhelm Wein and Rayleigh-Jeans. Planck was attracted to the formula-derived by Wein and made several attempts to derive the law based on the second law of thermodynamics. Meanwhile, experimentalists Lummer, Pringsheim, Kurlbaum and others found that Wein’s law while valid at high frequencies or shorter wavelengths broke down completely at low frequencies or longer wavelengths.

The Rayleigh-Jeans law agreed with experimental results at low frequencies or longer wavelengths but failed at higher frequencies or shorter wavelengths. Thus, both the theoretical laws failed to explain experimental results over the entire range of the spectrum. Further, they appear to lead to absurd conclusions. for example, in Wein’s formula

$$dE = K \lambda^{-5} e^{-a\lambda/T} d\lambda$$

Where  $dE$  is the energy contained in the wavelength range  $\lambda$  and  $\lambda + d\lambda$  emitted by a black body at temperature  $T$ ,  $K$  and  $a$  being constant, even when  $T$  is infinite, the energy  $E$  is still finite which contradicts experimentally verified Stefan’s law ( $E \propto T^4$ ). Similarly, Rayleigh Jeans’ law

$$dE = \beta \lambda^{-4} T e^{-a/\lambda T} d\lambda$$

where  $\beta$  and  $a$  are constants

It can be easily seen that as  $\lambda$  decreases, the energy emitted in the given wavelength range  $\lambda$  and  $\lambda + d\lambda$  increases quite rapidly and tends towards infinity as  $\lambda$  tends to zero which is not acceptable.

Planck thought that he should try to combine these two expressions and obtain a formula relating the energy of radiation to its frequency. Hence, in 1900, Max Planck proposed a new revolutionary hypothesis, known as quantum theory. Planck assumed that the oscillators comprising the black body and remitting the energy incident on them absorb and emit energy not in a continuous manner as suggested by the classical theory but as discrete integral multiples of a small unit of energy called the quantum. Energy of each quantum is given by  $h\nu$  proportional to the frequency of the radiation,  $h$  is a constant called Planck’s constant. These quanta are now called photons. Applying the laws of



probability to such quantum oscillators, he obtained expression for the energy distribution of a black body radiation which is called Planck's radiation formula.

$$dE = \frac{8\pi hc \lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kt} - 1} d\lambda$$

It agrees with the experimental results very well over the entire wavelength range. Further, Wein's and Rayleigh Jeans' formulae can be deduced from Planck's radiation formula as special cases. The quantum theory originally introduced by Planck forms one of the fundamental concepts of modern physics. In 1905, based on Planck's quantum theory, Albert Einstein successfully explained the experimental facts surrounding the photoelectric effect. Einstein's idea was even more revolutionary than that of Max Planck; he proposed that energy is not only quantized in electromagnetic waves but also carried in discrete packets called "quanta," now known as photons. Einstein's explanation of the photoelectric effect using Planck's quantum theory (for which he was awarded the Nobel Prize in 1921) significantly contributed to the theory's acceptance and application in various fields. Quantum theory has since been used to explain several phenomena, such as the Compton Effect, atomic structure, and the origin of spectral lines, which form a major foundation of modern physics. In 1918, while discussing with his son, Planck described his discovery as a discovery of the first rank, perhaps, comparable to Newton's discovery. In recognition of Planck's contribution to altogether a new branch of physics, he was awarded the Nobel Prize in 1918.

Max Planck retired in 1928, Another theoretical physicist Erwin Schrodinger, originator of Wave Mechanics, was selected as his successor.

### Later life

Max Planck held the position of the permanent secretary, of the mathematics and physics sections of the Prussian Academy of Sciences from 1912 to 1938. He also held the Presidentship of the Kaiser Wilhelm Society from 1930 to 1937, Planck held these positions with great authority and his decisions were seldom questioned. He was known for his fairness, integrity and wisdom which were beyond question. He was a man of indomitable spirit. His stoicism, mental strength, and philosophical and religious convictions enabled him to withstand the tragedies that followed one after another which Planck faced in his life after the age of 50. In 1909, his first wife died, and in 1916 his elder son Karl was killed, 1917 one of his daughters died in childbirth and his other daughter also died in 1919. Planck's house was destroyed by bombs in 1944 during the Second World War, the worst part of the tragedy was that his younger son was implicated in the attempt made on Hitler's life in July 1944 and he was mercilessly killed. These incidents destroyed Planck's will to live. At the end of the war, American officers took Planck and his second wife Marge Von Hoessian to Gottingen. At last, he died in his 89<sup>th</sup> year on 4<sup>th</sup> October 1947. In the words of James Frank, death came to Planck as an act of redemption. An illustrious scientist, the Father of Quantum Physics had a tragic end to his life. He was buried in Gottingen.

I end with a quote by Planck "Insight must Precede Application"

\*\*\*\*\*



# Heisenberg's Way of Thinking

Dr. B. Rudraswamy, Professor (formerly) Department of Physics, Bangalore University

## Introduction

Heisenberg was awarded the 1932 Nobel Prize in Physics "for creating quantum mechanics". At almost the same time, as Schrodinger's wave mechanics was proposed, W. K. Heisenberg (Germany, 1901 - 76) published a new theory which has later been called the matrix mechanics



The Most Intelligent Photo Ever Taken": The 1927 Solvay Council Conference, Featuring Einstein, Bohr, Curie, Heisenberg, Schrödinger & More The Most Intelligent Photo Ever Taken": The 1927 Solvay Council Conference, Featuring Einstein, Bohr,

## Newtonian classical mechanics

Let us consider a particle of mass  $m$  whose coordinate (position) and momentum are represented by  $q$  and  $p$  respectively. In classical mechanics, the coordinate  $q$  and the velocity  $v$  or the momentum  $p = mv$  are determined as a function of time  $t$  by the Newtonian equation of motion. In other words, the particle moving along an orbit, described by a function  $q(t)$  and the momentum  $p(t)$ , is located at any point on the orbit. Accordingly, a particle's orbit and state of motion are completely described by the coordinate  $q$  and momentum  $p$  in classical mechanics.

The above-mentioned variables  $q$  and  $p$  in classical mechanics are ordinary variables. When they are multiplied by each other, the order of multiplication can be exchanged; i.e.,

$$pq = qp. \quad (1)$$

## Heisenberg's matrix mechanics

However, in Heisenberg's theory, the result of multiplication changes depending on its order. This means that the physical quantities in Heisenberg's theory are not ordinary variables; they are matrices, well-known in mathematics. Let us denote these matrix-variables by boldface letters as **q** or **p**.

A matrix **a** consisting of many elements  $a_{11}, a_{12}, \dots$ , may be represented as

$$\mathbf{a} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{pmatrix}. \quad (2)$$

As similar to ordinary variables, the four basic operations of arithmetic (addition, subtraction, multiplication and division) can be defined for matrices. However, the results of multiplication of **q** and **p** differ depending on the order as

$$\mathbf{pq} \neq \mathbf{qp}. \quad (3)$$

Heisenberg assumed their difference to be

$$\mathbf{pq} - \mathbf{qp} = -i\hbar\mathbf{I}, \quad (4)$$

Where  $i$  is an imaginary number unit, **I** is a unit matrix,  $\hbar = h/2\pi$  and  $h$  is the plank's constant.

Heisenberg replaced the ordinary variables in classical mechanics with the matrix variables mentioned above and assumed the condition (4). Thereby, he obtained the correct values of frequencies and strengths of the spectra of hydrogen. These results are the same as those obtained by Schrodinger's wave mechanics.

This was surprising because it appeared that there might be nothing common between these two theories, the matrix mechanics and the wave mechanics. Schrodinger has later, however, shown that these two theories are equivalent to each other and one can be derived from the other (1926).

Nowadays, *Heisenberg's matrix mechanics* and *Schrodinger's wave mechanics* are generically named *quantum mechanics*.

### Stop Drawing the Orbit -- Abandon Common Sense!

Looking back at what we have studied so far, we are somewhat sceptical about whether the concept of the orbit of a particle may be valid or acceptable in the **microscopic** world.

In our common sense, as in *Newtonian classical mechanics*, a particle is considered to be a point, and the motion of the particle is represented by the position (coordinate) and the velocity (or momentum). We assume that the moving point particle describing an orbit and the position or momentum of this point particle is specified at each point on the orbit. This is the common sense in the **macroscopic** world.

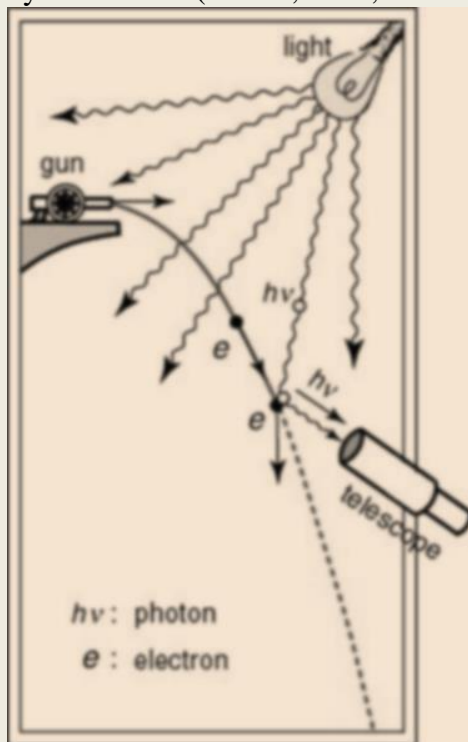
Whereas, in the *Schrodinger wave mechanics*, a **particle**, not only moves as a particle but accompanies a **wave**. In the *Heisenberg matrix mechanics*, the variables, **position** and **momentum** are no longer ordinary variables but **matrices**, as position or momentum is not exactly specified at each point on the orbit.

Consequently, it seems that the position and momentum might not necessarily be variables of unique values as our common sense suggests. Quantum mechanics seems to say, "Abandon Common Sense!"

Is it allowed in the **microscopic** world to abandon the common understandings that have long been accepted since ancient times?

### Heisenberg's Uncertainty Principle

As seen above, Heisenberg asserts that "the common sense might be abandoned" (1927). The basis is the following uncertainty principle. To explain this, let us now borrow an interesting illustration used by G. Gamow (Russia, USA, 1904 - 68). (See the figure.)



Gamow's Gedankenexperiment to explain the uncertainty principle

This pleasant illustration was represented in Gamow's enlightening book, "Thirty Years That Shock Physics" (Anchor/Doubleday, New York, 1966), to easily explain the uncertainty relation. Now let us consider the thought (Gedanken) experiment shown in the figure below. ("Gedanken" is a German word.)

Let us consider the Gedanken experiment as shown in the figure:

**Experiment:** In a completely vacuous room, an electron ejected horizontally from a gun is going down vertically, being acted on by gravity. When we detect the trajectory by shining an illuminating light on the electron, what happens?

**Analysis:** First, let us analyze this situation with the *Newtonian classical theory*. According to Newtonian mechanics, the electron must fall along a parabolic orbit. To detect this orbit, we turn on the lamp sometimes and illuminate the electron. Since light applies pressure onto the

electron and distorts the orbit, we should weaken the strength of the light very much to minimize its impact. It is possible to weaken the strength without bounds because there is no lower limit of the strength of light according to classical theory. As a consequence, the orbit measured in this way would approach a parabola ultimately. This is just our common sense that must be proved by the measurement.

Let us analyze this situation with the *Heisenberg quantum theory*. If we take into account that illuminating light is emitted as photons, the above discussion would be incorrect. Let the frequency and the wavelength of the light be  $\nu$  and  $\lambda$  respectively. The light collides with the electron as a particle

with a given energy  $h\nu$  and momentum. Due to the transfer of momentum between the photon and the electron, it gets a momentum  $\Delta p = h/\lambda$  at the most. As a result, the orbit of the electron is distorted. To reduce this distortion, we have to make the momentum transfer  $\Delta p$  as small as possible, i.e., to make the  $\lambda$  wavelength extremely large. But we cannot identify the position of the electron if  $\lambda$  is larger than the size of the telescope which is being used for observation (wavelength of light and electron is same here). Hence, the uncertainty (or error),  $\Delta x$  in the position  $x$  of the electron, is at least about the wavelength of the light,  $\lambda$ . Accordingly, the uncertainty (or error) of the momentum of the electron becomes

$$\Delta p = \frac{h}{\lambda} \approx \frac{h}{\Delta x}. \quad (5)$$

Consequently, we have a relation

$$\Delta x \Delta p \approx h. \quad (6)$$

This relation (6) is called Heisenberg's uncertainty principle.

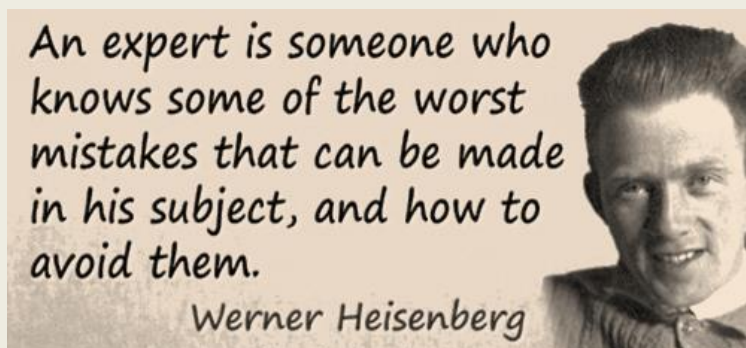
This principle means that, if we intend to reduce the uncertainty of position ( $\Delta x$ ) then the uncertainty of momentum ( $\Delta p$ ) becomes large, and vice versa. In other words, it is impossible to simultaneously specify precisely the values of both the coordinate position and corresponding momentum of a particle in an experiment because of the particle-wave duality of light.

*We referred to uncertainty (or error) in the above discussion, but this does not imply measurement errors like misreading of apparatus or errors caused by poor experimental settings. Even if the apparatuses have no defect and the experiment is carried out without any error, we would have essential errors (or uncertainties) due to the particle-wave duality of light.*

### The Assertion of Heisenberg and Bohr

After doing various hypothetical (Gedanken) experiments, Heisenberg and Bohr concluded that no experiment can specify the values of the coordinate (position) and momentum of a particle more precisely than the limits given by the uncertainty principle (6). Hence, they asserted that we may have to *abandon the classical common sense that the coordinate and the momentum of a particle are ordinary variables* possessing precisely specified values and moving along a trajectory drawn in a curved line.

\*\*\*\*\*





**Those who are not shocked when they first come across quantum theory cannot possibly have understood it.**

**- Niels Bohr**

**If you think you understand quantum mechanics, you don't understand quantum mechanics.**

**- Richard Feynman**

**Not only is the Universe stranger than we think, it is stranger than we can think.**

**- Werner Heisenberg**

Three quotes from three famous quantum physicists. I guess it is safe to say that there is broad consensus that trying to understand quantum mechanics is not your average Sunday morning brain teaser. However, quantum mechanics is not just mind-boggling and food for vigorous thought. In fact, although we might not be able fully to comprehend it, technologies built upon our understanding of quantum mechanics are already all around us.

Transistors and semiconductors in our computers and communication infrastructures are examples of 'first generation' quantum technologies. But the best is still to come. Through a greater understanding of quantum phenomena such as 'superposition' and 'entanglement' (explained below), the 'second quantum revolution' is now taking place, enabling the development of novel and revolutionary quantum technologies.

As these technologies will bring profound new capabilities both for civilian and military purposes, quantum technologies have received significant interest from industry and governments in recent years. Big technology companies like IBM, Google and Microsoft are spending hundreds of millions of dollars on research and development in the area of quantum computing in their race for 'quantum supremacy'. Similarly, governments have recognised the transformative potential and the geopolitical value of quantum technology applications and the United States, the European Union and China have each set up their own over-billion-dollar research programmes.

## **Principles Underlying Quantum Technologies**

Without going into a detailed explanation of quantum mechanics, a few key underlying principles are worth briefly discussing to help understand the potential applications of quantum technologies.

Quantum technologies exploit physical phenomena at the atomic and sub-atomic scale. Fundamental to quantum mechanics is that at this atomic scale, the world is 'probabilistic' as opposed to 'deterministic'.

This notion of probability was the subject of a world-famous debate between Albert Einstein and Niels Bohr at the fifth Solvay Conference on Physics, held in October 1927 in Brussels. This conference gathered the 29 most notable physicists of the time (17 of them would later become Nobel Prize winners) to discuss the newly formulated quantum theory.

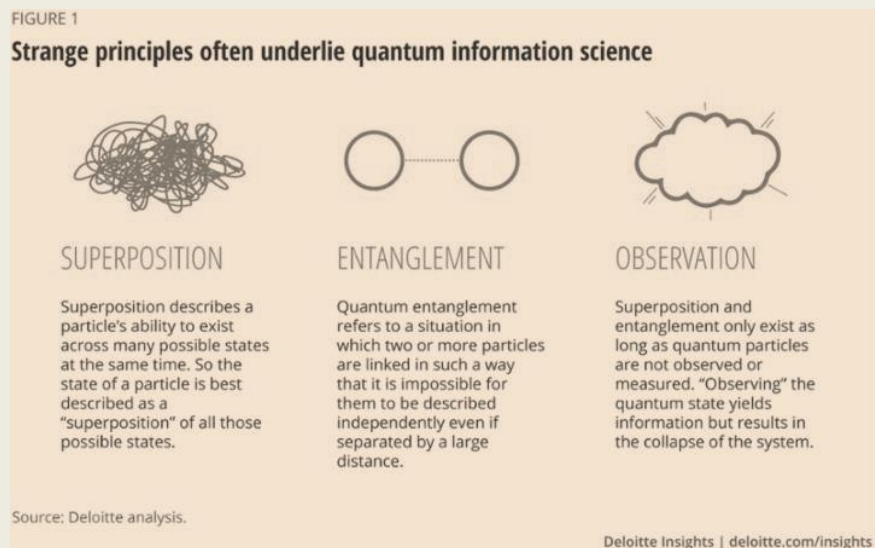
In the so-called "debate of the century" during the 1927 Solvay Conference, Niels Bohr defended the new quantum mechanics theory as formulated by Werner Heisenberg, whereas Albert Einstein



tried to uphold the deterministic paradigm of cause and effect. Albert Einstein famously put forward that “God does not play dice”, after which Niels Bohr countered “Einstein, stop telling God what to do.”

Nowadays, the scientific community agrees that Niels Bohr won the debate. This means that our world does not have a fixed script based on cause and effect but is in fact subject to chance. In other words, you can know everything there is to know in the universe and still not know what will happen next.

This new probabilistic paradigm led the way to a better understanding of some key properties of quantum particles which underlie quantum technologies, most notably ‘superposition’ and ‘entanglement’ (figure 1). The improved understanding of these fundamental quantum principles is what has spurred the development of next-generation quantum technologies: quantum sensing, quantum communication and quantum computing.



## Present and future applications

While quantum computing has received most of the hype around quantum technologies, a whole world of quantum sensing and quantum communication is out there, which is just as fascinating and promising.

### Quantum sensing

Quantum sensors are based on ultra-cold atoms or photons, carefully manipulated using superposition or entanglement in specific ‘quantum states’. By exploiting the fact that quantum states are extremely sensitive to disturbances, quantum sensors can measure tiny differences in all kinds of different properties like temperature, acceleration, gravity or time.

Quantum sensing has transformative potential for our measurement and detection technology. Not only does it enable much more accurate and sensitive measurements, it also opens up possibilities to measure things, we have never been able to measure before. To name a few, quantum sensors could allow us to find out exactly what lies under our feet through underground mapping; provide early-

warning systems for volcanic eruptions; enable autonomous systems to ‘see’ around corners; and provide portable scanners that monitor a person’s brain activity (source: Scientific American).

While quantum technologies might seem to be technologies of the distant future, the first quantum sensors are actually already on the market (for example, atomic clocks and gravimeters). Looking ahead, we can expect more quantum sensing applications to become available over the coming five to seven years, with quantum Positioning Navigation and Timing (PNT) devices and quantum radar technologies as particular applications to look out for.

### **Quantum communication**

The potential of quantum communication relies on its promise to enable ‘ultra-secure’ data communication, potentially even completely unbackable. Currently, our exchange of data relies on streams of electrical signals representing ‘1s’ and 0s’ running through optical fibre cables. A hacker who manages to tap into these cables can read and copy those bits as they travel through the cable. In quantum communication on the other hand, the transmitted information is encoded in a quantum particle in a superposition of ‘1’ and ‘0’, a so-called ‘qubit’. Because of the sensitivity of quantum states to external disturbances, whenever a hacker tries to capture what information is being transmitted, the qubit ‘collapses’ to either a ‘1’ or a ‘0’ – thereby destroying the quantum information and leaving a suspicious trail.

The first application of quantum communication is called ‘Quantum Key Distribution’ (QKD) which uses quantum particles for the exchange of cryptographic keys. In QKD, the actual data is transmitted over traditional communication infrastructure using normal bits, however, the cryptographic keys necessary to decrypt the data are transmitted separately using quantum particles. Extensive experimentation in QKD is already taking place, both using terrestrial communication as well as space-based communication. In 2016, China launched the world’s first quantum science satellite ‘Micius’, which has since then demonstrated intercontinental ground-to-satellite and satellite-to-ground QKD by securing a video conference meeting between Beijing and Vienna.

‘Quantum teleportation’ would be the next step in quantum communication. Whereas in QKD the cryptographic keys are distributed using quantum technology, with quantum teleportation it is the information itself that is being transmitted using entangled quantum pairs. The greatest distance over which quantum teleportation has been achieved so far over fibre-optic cable is 50 kilometres, and the challenge in the coming years is to scale quantum teleportation to enable secure communication over larger distances.

The ultimate goal in quantum communication is to create a ‘quantum internet’: a network of entangled quantum computers connected with ultra-secure quantum communication guaranteed by the fundamental laws of physics. However, a quantum internet not only requires quantum

teleportation over very large distances, it would also require the further development of other crucial enabling technologies like quantum processors, a comprehensive quantum internet stack including internet protocols and quantum internet software applications. This really is a long-term endeavour and,

while it's difficult to determine if and exactly when this technology matures, most scholars refer to a time horizon of 10-15 years.

## **Quantum computing**

Quantum computing will significantly increase our capacity to solve some of the most complex computational problems. Quantum computing is said to be as different from classical computing, as a classical computer differs from the abacus.

As explained above, whereas classical computers perform calculations using binary digits (0 or 1), quantum computers represent information using quantum bits (qubits) which can be in a superposition of both states (0 and 1 at the same time).

As qubits are extremely sensitive to external disturbances, to be able to control, manipulate and exploit them, qubits need to be cooled down to a level extremely close to the absolute minimum temperature (or zero kelvin), around 15 millikelvins. That is colder than outer space! In fact, inside a quantum computer is the coldest place in the universe we know of.

Qubits enable quantum computers to make multiple calculations at the same time, potentially resulting in an immense increase in computational efficiency as opposed to classical computers. There are several applications where quantum computers will be particularly transformational:

- Simulation of physical systems for drug discovery and the design of new materials;
- Solving complex optimisation problems in supply chain, logistics and finance;
- Combination with artificial intelligence for the acceleration of machine learning;
- Factorisation of integers, enabling the decryption of most commonly used cybersecurity protocols (e.g. RSA, an asymmetric encryption algorithm, used for secure data transmission).

Big technology companies like IBM, Google and Microsoft are racing for 'quantum supremacy', which is the point where a quantum computer succeeds in solving a problem that no classical computer could solve in any feasible amount of time.

In October 2019, Google claimed to have achieved quantum supremacy on its 53-qubit quantum computer. However, critics say that the problem solved in the Google experiment had no practical value and that therefore the race for quantum supremacy is still on.

Current quantum computers have around 60 qubits but further developments follow each other in rapid succession and ambitions are high. In September 2021, IBM announced a road map for the development of its quantum computers, including its goal to build a quantum computer with 1000 qubits by 2023. Google has its own plan to build a million-qubit quantum computer by 2029.

With 1000-qubit quantum computers, so-called Noisy Intermediate-Scale Quantum (NISQ) computers, we can already see some valuable practical applications in material design, drug discovery or logistics. The coming five to ten years therefore will be incredibly exciting for quantum computing.

## Implications for defence and security

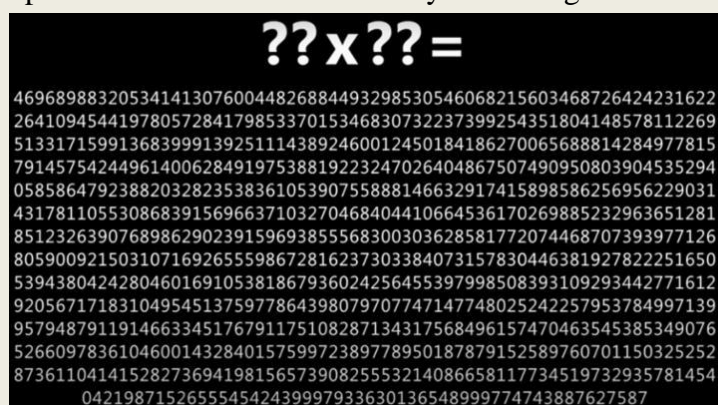
Quantum technologies have the potential to bring profound new capabilities, enabling us to sense the insensible, transforming cybersecurity, and enabling us to solve problems we have never been able to solve before.

In the defence and security environment, two applications will have particularly significant implications in the near- to mid-term.

Firstly, quantum sensing. Quantum sensors have some promising military applications. For example, quantum sensors could be used to detect submarines and stealth aircraft, and quantum sensors could be used for Position, Navigation and Timing (PNT). Such ‘quantum PNT devices’ could be used as reliable inertial navigation systems, which enable navigation without the need for external references such as GPS. This would be a game-changing capability for underwater navigation on submarines, for instance, but also as a back-up navigation system for above-water platforms in case of GPS signal loss.

The first quantum sensors are already commercially available, making it the most mature technology out of sensing, communications and computing. Moreover, for quantum communications and computing, the civilian sector is expected to drive developments forward, given the immense potential value they have for civil industry. However, for quantum sensing, potential applications such as quantum PNT and quantum radar are particularly interesting for the military. Therefore, it is up to the military to fund, support and guide research and development in this area to make these potential applications a reality.

Secondly, the ‘quantum threat’ posed by quantum computing. As mentioned in the previous section, the factorisation of integers is one type of problem that quantum computers can solve particularly efficiently. Most of our digital infrastructure and basically anything we do online – whether that is video conferencing, sending e-mails or accessing our online bank account – is encrypted through cryptographic protocols based on the difficulty of solving these kinds of integer factorisation problems (e.g. the RSA



algorithm). While practically usable quantum computers still need to be developed, the quantum algorithm to solve these problems and to decrypt our digital communication, i.e. Shor’s algorithm, has already been invented in 1994 and is waiting for a quantum computer capable of running it.

To illustrate, the figure below is an example of an integer factorisation problem as used to

secure potentially sensitive information. While you might think that any graphic calculator would be able to solve this seemingly simple mathematical problem the world’s fastest supercomputer would take the whole lifetime of the universe to solve it. A quantum computer, however, would be able to solve it in a couple of minutes.

This is an urgent threat to society writ large but also specifically to the military, given the importance of secure communication and secure information for defence and security. To counter this threat, we will

have to completely upgrade all our secure digital infrastructure using cryptography that is ‘quantum-resistant’, i.e. secure against both quantum and classical computers. One option would be to wait for quantum communication (QKD or quantum teleportation) to mature and use this quantum technology to protect against other quantum technologies. However, time is not on our side. Not only could quantum computing technology outpace quantum communication development, but the threat is already present. With the prospect of future quantum computers, hackers could steal encrypted information today, store it and decrypt it in 10-15 years using a future quantum computer.

The better option is to implement ‘Post-Quantum Cryptography’ (PQC), new classical (i.e. non-quantum) cryptographic algorithms that even quantum computers will not be able to solve. Currently, the US National Institute of Standards and Technology (NIST) is leading an international competition to select the PQC algorithm(s) to be standardised and adopted across the globe. The process started in 2016 and in July 2020 the NIST announced it had seven final candidates.

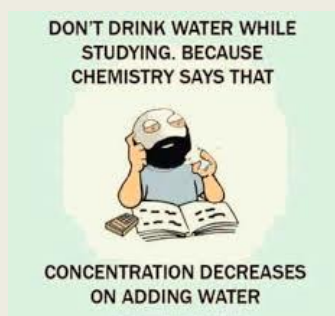
We can expect the NIST to make its final selection for standardisation by early 2022 and establish actual standards by 2024. Decision-makers across industries and within the military should pencil these dates in their diaries, start preparing for a big cybersecurity upgrade and make sure we hit the ground running.

### Way ahead

New advances in quantum technology research and development have the potential to bring exciting new capabilities to the military. Given the sizable interest and funding for quantum technologies coming from both civilian industry and governments, it is expected that the technology will mature and that new quantum applications will become available in the coming five to ten years. However, for Allied militaries to be able to actually reap the benefits of these new quantum technologies, it is essential that Allies proactively engage in this field and guide the development and adoption of the military applications of quantum technologies. This should include not just engaging with big technology companies, but specifically also with start-ups, universities and research institutes as these are vital for innovation in these new technologies.

Allied militaries could bring significant added value to existing efforts in industry and academia by providing testing & validation infrastructure (test centres) and access to end-user military operators. Early experimentation with these technologies not only contributes to their further development, but also enables the military to become familiar with these technologies and their capabilities, which helps facilitate future adoption. Moreover, active participation in the quantum ecosystem increases the military’s understanding of the potential risks associated to quantum technologies, specifically within the cyber domain.

\*\*\*\*\*





# The Basic Physics of Drones

**Dr. B.A. Kagali. Professor of Physics (retd.), Bangalore University**

Nowadays drones have become very common and popular all over the world. They have been used as flying toys, flying video cameras, small goods transporters for short distances, and carriers of weapons in wars, just to name a few.

There are several kinds of designs for them, depending on their end-use. The most common and perhaps the most basic is what is called a quadcopter design. It consists, essentially, of a square-bodied vehicle with four arms with spinning blades at the four corners with various control systems in the middle part. See the figure.



One wonders how such a device can fly making all kinds of maneuvers, when one does not see any wings, any tail, or any rudder that we commonly associate with an airplane. How does it manage to go forward and backwards; move sideways and turn about a vertical axis passing through its centre are some of the questions one tends to ask. Let us see how we can find answers to such questions using basic physical principles.



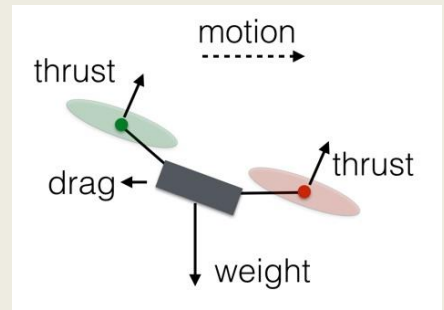
The four specially shaped spinning blades (or propellers) at the corners are arranged to spin at different rates individually by a central control system. All of them do not spin in the same direction – if that was true it would cause the entire body of the drone to spin constantly in the opposite direction, something that we do not want. Hence, diagonally opposite blades along one diagonal (like 1 and 3) spin in one direction, while those along the other diagonal (like 2 and 4) spin in the opposite sense as shown in the figure below.

Such an arrangement leads to cancellation of the torque on the body of the drone – hence the drone can move up or down and left or right without unwanted rotation.

If we want the drone to move up vertically, we just raise the spinning rates of all four blades together. Then, the lifting force - known as thrust that is developed due to the rapid displacement of air downwards (again following Newton's third law for forces) counteracts the weight of the drone and if the thrust exceeds the weight, the drone climbs up vertically. In the special case of the thrust balancing the weight, the drone simply stays at one position. Such a motion is called hovering. If one wishes to bring down the drone, the spinning rate of the blades is gradually reduced. Then the vehicle slowly comes down and touches the ground without any damage. It is believed that the thrust is proportional to the square of the spin rates.

Supposing we want the drone to move forward, then the two blades on the back side (opposite side to the direction of motion), marked in green below, are spun at a greater speed than those in the forward direction, marked in violet in the figure. Following Newton's third law, the backside would receive a

greater upward force than the front side. The net result is the lifting up of the back portion compared to the front part as shown in the figure. Please note that there will always be a resistive force, called drag, due to the air medium.

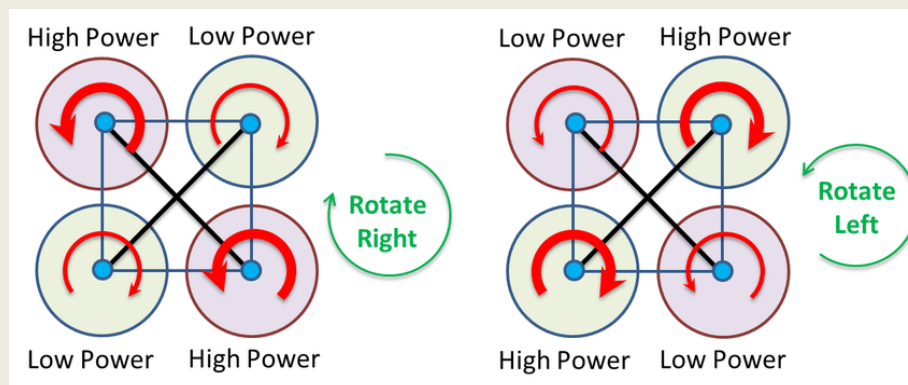


Therefore, a component of the total force acting horizontally along the forward direction on the body emerges in addition to the vertical force component balancing the weight. This makes the drone move forward – with the forward edge slightly dipped compared to the backward edge! This can be noticed on a slowly flying quadcopter. Alternatively, a drone can be made to move backward from its hovering position, if the front blades are spun faster than the rear ones. This is a simple, but ingenious, idea employed for moving a quadcopter horizontally.

Similarly, movements to the left and right can be achieved by differentially spinning the right or left pair of blades. The speed of the linear motion depends on the difference in the spinning rates of the left and right pair of blades over and above the hovering spin rates.

We also see a drone turning clockwise or anticlockwise about a vertical axis in addition to the linear motions discussed above.

They are called yaw motions. How are such turnings achieved? Let us say the blades with violet colour are spinning in an anticlockwise manner while coloured green are spinning in a clockwise manner. Remember that such diagonal pairing of blades is required for stability, as discussed earlier. Let us say we enhance the spinning rates of the violet blades compared to the rates of the green ones, then there is a net angular motion of the blades in an anticlockwise manner. Hence, the body of the drone starts



spinning or turning in a clockwise manner, following Newton's third law for the conservation of angular momentum. Amazingly, the spin rates control all possible motions of the drone! Alternatively, if the green-coloured blades are spun at a higher rate than the violet ones,

the body of the drone turns in an anticlockwise manner as illustrated in the picture.

The central part of the drone houses batteries, control systems, motors, communication units, cameras etc. depending on the model. There are very many variations over this basic quad-copter design, such as those with a greater number of arms and those with a greater number of blades etc. It is nice to understand how manipulating the spinning rates of blades leads to drone motion at the basic level!

\*\*\*\*\*

# Pollution of Air, Water and Land in India

Subhash Chandra Garg

Indian factories and cities unload pollutants and untreated organic material into our rivers, lakes and ponds. This makes their water unfit for drinking or bathing or both, depending on the extent of pollution. More than 320 out of 521 rivers monitored for water quality by the Central Pollution Control Board (CPCB) in 2016 were found to be polluted (whose water is not fit for drinking). A 2015 CPCB report found that the number of polluted rivers in India increased from 121 to 275, and to 351 in 2018.

In 2019, as per the World Air Quality Report, India had the highest population-weighted annual average particulate matter (PM)<sub>2.5</sub> exposure in the world at 83.2 micrograms per cubic metre (µg/m<sup>3</sup>) of air. The World Health Organization's (WHO) safe limit for weighted annual average PM<sub>2.5</sub> exposure is only 10 µg/m<sup>3</sup>. India was in the least healthy category of exposure, between 75 and 85 µg/m<sup>3</sup>. Over the period 2010–19, the country had seen the third-highest increase in exposure after Nigeria and Bangladesh at 6.5 µg/m<sup>3</sup> over this period. India's general quality of air suggests a state of emergency.

India's air, water and environment are all severely polluted. Modi 2.0 needed to address the pollution problem as an emergency.

Control of the pollution scheme did not make much difference

The Control of Pollution scheme has been operational since 2018. The main objectives of the scheme are to monitor air quality across the country and take appropriate mitigation measures, besides monitoring water quality and noise levels.

There are four components of the scheme:

1. Financial Assistance for Abatement of Pollution (AAP) to the weaker state pollution control boards/ pollution control committees (SPCBs/PCCs) and to the central pollution control board (CPCB),
2. Managing the National Clean Air Programme (NCAP),
3. Measuring quality through the Environmental Monitoring Network Programme (EMNP), and
4. Conducting related research and outreach programmes.

Actual expenditure under the CoP scheme was Rs 599.91 crore in 2022–23 and pegged at Rs 848 crore in 2023–24 RE. The expenditure under the programme has gradually increased from Rs 409 crore in 2019–20. The funds under the scheme are essentially released to the CPCB, which, in turn, passes on most of it to the state pollution control boards.

The funds under the AAP component are spent on pollution abatement activities, including pollution assessment – source monitoring, monitoring of ambient air, water and noise, conducting technical studies and the like. This component functions more as maintenance of the system created to monitor quality.

The NCAP component, initiated in January 2019, supports a more focused intervention. The objective was to improve air quality in 131 select cities by reducing the PM<sub>10</sub> concentration over the baseline

2017 by 20–30 per cent by 2024 (later revised to 40 per cent by 2025–26 relative to base year 2019–20). A total of 885 stations have been made operational to monitor air quality in these 131 cities. The MoEFCC Annual Report 2023–24 reports that city-level action plans had been prepared for all the cities. Further, ninety cities showed improvement in air quality in 2022–23 compared to base 2017 and fifteen cities conformed to national ambient air quality standards compared with six cities in 2017. Unfortunately, the extent of improvement in these ninety cities, even after the programme had run for more than four years, was not specified. Admittedly, in the forty-one remaining cities, the air quality deteriorated or stayed stagnant.

### **Environment Ministry kept diluting/postponing standards for thermal power plants**

The MoEFCC notified eighty-one standards across industries, including for major polluting industries, such as thermal power plants, sugar industry, cement industry and fertilizer industry, among others. The implementation of standards, however, was not that satisfactory.

A case in point is the notification of stringent emissions limits issued for sulphur dioxide, nitrogen oxides, particulate matter, mercury and water usage in coal-based thermal power plants. The standards were first notified in 2015 and were to be complied with by 2017. In 2017, the power plants were granted a five-year extension (till December 2022) to meet the deadlines in a phased manner. Eleven plants in Delhi-NCR were to comply with the norms by 2019.

The MoEFCC kept diluting the standards after extending the deadline to 2019/2022. In June 2018, the water norms for units installed after January 2017 were diluted from 2.5 m<sup>3</sup>/MWh to 3 m<sup>3</sup>/MWh. In May 2019, the nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) norms for units installed in 2004–16 were diluted from 300 mg/Nm<sup>3</sup> to 450 mg/Nm<sup>3</sup>. In March 2021, the MoEFCC issued a notification specifying new deadlines for compliance, with the norms based on the location of the coal thermal power plants. In September 2022, the MoEFCC further extended the sulphur oxide (SO<sub>x</sub>) standards deadline to 2024.

There was only limited progress in making the thermal coal plants comply with the environmental standards, diluted notably in the nine years ending March 2024.

### **Commission on Air Quality made little difference to Delhi's air pollution**

The government, in a bid to deal with the rising air pollution in Delhi-NCR, first brought an ordinance on 29 October 2020 – the Commission for Air Quality Management in National Capital Region and Adjoining Areas Ordinance 2020 – to put in place an oversight body which would have functions, including laying down parameters of air quality and environmental pollutants, to inspect premises violating the law and ordering closure of non-abiding industries/plants.

After a little flip-flop in which the Commission was denotified, a statutory commission was constituted on 23 April 2021 through the Commission for Air Quality Management in NCR and Adjoining Areas Act, 2021. The adjoining areas where the act is in force include Punjab, Haryana, Rajasthan and Uttar Pradesh, and adjoining areas of the NCR region and Delhi, where any source of pollution is located and is hurting air quality in the National Capital Region (NCR).

As per a press release issued by the government in 2023, the Commission for Air Quality Management in NCR and Adjoining Areas (CAQM) did undertake “considerable action” for the prevention and control of air pollution in Delhi-NCR and adjoining areas, which resulted in “general improvements in the AQI level” of the NCT Delhi.

The press release further informed that the commission adopted an airshedlike approach and issued a comprehensive policy to curb air pollution in the NCR in July 2022. The policy has sector-wise action plans for the prevention and control of air pollution in the region by various sectors contributing to air pollution. The commission also issued seventy-eight directions and eleven advisories, besides many executive orders to various agencies concerned in the NCR, including the state governments of Punjab, NCTD and various bodies of the central and the state governments in the region.

Separately, a Graded Response Action Plan (GRAP) was formulated and notified by the MoEFCC in January 2017 on the recommendation of CPCB for Delhi-NCR to tackle the issue of a sudden rise in air pollution levels. A comprehensive review of actions listed under GRAP was carried out by CPCB in 2020. Based on these inputs, the revised GRAP was published by the CAQM and further action was taken for its implementation.

While the government claimed improvement in air quality, the winter of 2023–24 witnessed the worst air pollution in Delhi and NCR. The “End of Winter Report 2023–24: Spread and scale of air pollution crisis in India’ issued by the Centre for Science and Environmental Analysis, noted that the ‘toxic air pollution came back to trouble the public yet again this winter’.

The air quality began to worsen much earlier than usual due to low rains in September–October and was made even worse due to low wind speed throughout the season. The report concluded that North and East India remained the most polluted regions of the country. The “air quality in North India was significantly worse this winter compared to the previous winter”. There was no improvement in the quality of air in Delhi, the seat of the Modi government, during 2019–24.

## Reference

Subhash Chandra Garg, *The Ten Trillion Dream Dented: The State of the Indian Economy and Reforms in Modi 2.0 (2019-2024)*, Penguin Indian.

\*\*\*\*\*

### Einstein and the Car

One day, Albert Einstein was driving through the countryside when he was pulled over by a police officer.

The officer said, “Sir, you were going 80 miles per hour in a 55 zone!”

Einstein replied, “I didn’t realize! I was just trying to get to my next lecture on relativity!”

The officer, not impressed, asked, “And what does that have to do with your speeding?”

Einstein grinned and said, “Well, officer, in my mind, I was still moving at the speed of light!”

The officer shook his head and said, “Just remember, you can’t outrun the law, even if you’re a genius!”



\*ತರಲ = ದ್ರವ / ಅನಿಲ

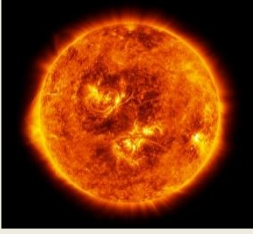
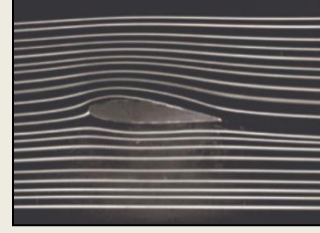
## (Fluid Dynamics – An Overview)

ಸುಮಾರು 437 ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದಿನ ಪ್ರಸಂಗ. ಯೂರೋಪ್ ಪ್ರದೇಶದ ಸಂಸ್ಥಾನಗಳು ರಾಜಕೀಯ ಹಾಗೂ ಧಾರ್ಮಿಕ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕಾಗಿ ತಮ್ಮತಮ್ಮಲ್ಲೇ ಸೆಣೆಸಾಟ ನಡೆಸುತ್ತಿದ್ದವು. ಅಂತಹ ಒಂದು ಕದನಕ್ಕೆ ರೋಮನ್ ಕ್ಯಾಥೊಲಿಕ್ ಮತದ ಸ್ವೈನಿ ಒಡೆಯ ಇಮ್ಮಡಿ ಫಿಲಿಪ್ ಸಜ್ಜಾಗಿದ್ದರೆ, ಪ್ರೊಟೆಸ್ಟೆಂಟ್ ಮತದ ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ರಾಣಿ ಎಲಿಜಬೆತ್ ತನ್ನ ಸಂಸ್ಥಾನದ ಅಸ್ತಿತ್ವಕ್ಕಾಗಿಯೇ ಹೋರಾಡಬೇಕಾದ ಅನಿವಾರ್ಯದ ಸ್ಥಿತಿ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿತ್ತು. ಈ ಅವಸ್ಥೆಯು 1588ರ ಆಗಸ್ಟ್ 8ರಂದು ಇಂಗ್ಲಿಷ್ ಚಾನಲ್ ಸಮುದ್ರತೀರವನ್ನು ರಣರಂಗವನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಿತ್ತು. ಸ್ಪೈನ್-ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ನಡುವೆ ಯೂರೋಪಿನ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲೊಂದು ನಿರ್ಣಾಯಕ ನೌಕಾಯುದ್ಧ ನಡೆಯಲಿತ್ತು.

ಸ್ಪೈನ್ ನೌಕಾಸೈನ್ಯದ ಹಡಗುಗಳು ಸೈನಿಕರಿಂದ ತುಂಬಿದ್ದವು. ಅಂದಿನ ಯಾವುದೇ ಹಡಗನ್ನು ಧ್ವಂಸಮಾಡಬಲ್ಲ 50 ಪೌಂಡುಗಳ ತೂಕದ ಲೋಹದ ಗುಂಡನ್ನು ಹಾರಿಸುವಂತಹ ಭಾರವಾದ ತೋಪುಗಳಿಂದ ಆ ಹಡಗುಗಳು ಕೂಡಿದ್ದರಿಂದ, ಮಂದಗತಿಯಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಚಲಿಸಬಲ್ಲವಾಗಿದ್ದವು. ಇವುಗಳಿಗೆ ವಿರುದ್ಧವಾಗಿ ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ಸಣ್ಣ ಹಡಗುಗಳು ಕಡಿಮೆ ಸೈನಿಕರಿಂದ, ಹಗುರವಾದ ತೋಪುಗಳಿಂದ ಕೂಡಿದ್ದರಿಂದ, ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಹೊಂದಿದ್ದವು. ಯುದ್ಧದ ದಿನದಂತ್ಯಕ್ಕೆ ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ನೌಕಾಸೈನ್ಯ ಜಯಕೀರ್ತಿ ಹಾಡಿತ್ತು; ಯೂರೋಪಿನ ಅತ್ಯಂತ ಪ್ರಬಲ ನೌಕಾಸೈನ್ಯ ಎಂಬ ಹೆಗ್ಗಳಿಕೆ ಸಂಪಾದಿಸಿತ್ತು. ಮುಂಬರಲಿದ್ದ ಎಲ್ಲಾ ನೌಕಾಯುದ್ಧಗಳಿಗೆ ವೇಗವಾಗಿ ಕ್ರಮಿಸಬಲ್ಲ ಹಡಗುಗಳು ಅತ್ಯವಶ್ಯಕ ಎಂಬ ಪಾಠ ಅರಿತಾಗಿತ್ತು. ಹಡಗಿನ ವಿನ್ಯಾಸಕಾರರಿಗೆ ಇಲ್ಲೊಂದು ಸಮಸ್ಯೆ ಎದುರಾಯಿತು – ಹಡಗಿನ ವೇಗವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುವ ವಿಧಾನವೇನು ಎಂಬುದು. ನಿಖರವಾಗಿ ಹೇಳಬೇಕಾದರೆ, ಹಡಗಿನ ಚಲನೆಯಿಂದ ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಘರ್ಷಣಾಬಲವನ್ನು (drag force) ತಗ್ಗಿಸಲು ಹಡಗಿನ ತಳದ ವಿನ್ಯಾಸ ಹೇಗಿರಬೇಕು? ಇದನ್ನು ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ಉತ್ತರಿಸಲು ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದ (fluid dynamics) ಅಧ್ಯಯನ ಅವಶ್ಯವಾಯಿತು.

ಪುರಾತನ ಕಾಲದಿಂದ ಹಲವಾರು ನಾಗರಿಕತೆಗಳು ಮೇಲ್ಗಾಲುವೆಗಳನ್ನು (aqueducts), ಅಣೆಕಟ್ಟುಗಳನ್ನು, ಜಲಚಕ್ರಗಳನ್ನು, ಚರಂಡಿ ಹಾಗೂ ಕುಡಿಯುವ ನೀರಿನ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳನ್ನು, ಹೀಗೆ ಹಲವಾರು ದಿನನಿತ್ಯದ ಜೀವನದ ಸಾಧನಗಳನ್ನು ನೀರಿನ ಚಲನವಲನದ ತಿಳುವಳಿಕೆಯಿಂದಲೂ, ಅನುಭವದಿಂದಲೂ ಬಳಸುತ್ತಾ ಬಂದಿವೆ. ದ್ರವದ ವರ್ತನೆಯ ಸೂಕ್ಷ್ಮಜ್ಞಾನ ಇಂತಹ ಹಲವಾರು ವಾಸ್ತವಿಕ ಸಂದರ್ಭಗಳಿಂದ ಶತಮಾನಗಳಿಂದ ಬೆಳೆದುಬಂದಿದೆ. ಇದನ್ನು ಆಧರಿಸಿದ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನವು ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಕ್ರಮದಿಂದ ಸಂಪಾದಿಸಿದ ಜ್ಞಾನವನ್ನು ಜೀವನದ ಅನುಕೂಲತೆಗೆ ಬೇಕಾದ ಉಪಕರಣಗಳ ವಿನ್ಯಾಸಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ. ಹಾಗಾಗಿ, ತರಲಶಾಸ್ತ್ರಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಮೂಲಭೂತ ವಿಷಯಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ – ಸಾಗರದ ಮೇಲೆ ತರಂಗಗಳು ಹೇಗೆ ಸಂಭವಿಸುತ್ತವೆ? ಮೋಡಗಳು ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ ಏನು?

ತರಲವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಕ್ರಮಿಸುವ ಕಾಯದ ವೇಗಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಅದು ಅನುಭವಿಸುವ ಘರ್ಷಣಾಬಲವೆಷ್ಟು? ನಮ್ಮ ಹೃದಯದಿಂದ ಶ್ವಾಸಕೋಶಗಳಿಗೆ ಹಾಗೂ ಅಂಗಾಂಗಗಳಿಗೆ ರಕ್ತಪರಿಚಲನೆಯಾಗುವ ಬಗೆ ಹೇಗೆ? ಹಕ್ಕಿಯು ತನ್ನ ರೆಕ್ಕೆಗಳನ್ನು ಬಡಿದು ಗಾಳಿಯಲ್ಲಿ ಹೇಗೆ ಹಾರಬಲ್ಲದು? ಚಂಡಮಾರುತ ಉದ್ಭವಿಸುವ ಕಾರಣವೇನು ಹಾಗೂ ಹೇಗೆ ವಿಕಸನವಾಗುತ್ತದೆ? ಅಷ್ಟೇ ಏಕೆ, ಸೂರ್ಯನಂತಹ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಹೇಗೆ ಹುಟ್ಟಿ, ಬೆಳೆದು, ಅಂತ್ಯ ಕಾಣುತ್ತವೆ? - ಹೀಗೆ ಗಣನೆಗೆ ಮೀರಿದ ವಿಷಯಗಳ ಅಪಾರ ವ್ಯಾಪ್ತಿ ಹೊಂದಿದೆ (ಚಿತ್ರ 1 ನೋಡಿ). ಈ ವಿಶಾಲವಾದ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಸಂಕ್ಷಿಪ್ತ ಪರಿಚಯ ಮಾಡಿಸುವ ಸಲುವಾಗಿ ಪ್ರಸ್ತುತ ಲೇಖನದಲ್ಲಿ ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಬಳಸುವ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ವಿಧಾನಗಳ ಹಾಗೂ ಅದರ ವಿವಿಧ ಸಮಸ್ಯೆಗಳ ಮೇಲೊಂದು ನಸುನೋಟ ಹಾಕೋಣ. ಮೇಲಾಗಿ, ಇದರ ಅಧ್ಯಯನಕ್ಕೆ ಶಾಲಾ-ಕಾಲೇಜುಗಳಲ್ಲಿ ಬೋಧಿಸಲಾಗುವ ಯಾವೆಲ್ಲಾ ವಿಷಯಗಳ ಪರಿಣಿತಿ ಅಗತ್ಯ ಎಂದು ತಿಳಿದುಕೊಳ್ಳೋಣ.



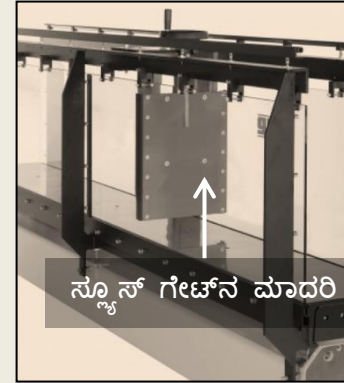
ಚಿತ್ರ 1 - ತರಲಶಾಸ್ತ್ರಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ವಿಷಯಗಳ ಅಪಾರ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯ ಒಂದು ಚಿತ್ರನೋಟ.

ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ದ್ರವ್ಯದ ಸ್ಥಿತಿಗಳು ಮೂರಂದು ನಾವು ಕಲಿಯುತ್ತೇವೆ - ಘನ, ದ್ರವ ಮತ್ತು ಅನಿಲ. ಘನವಸ್ತುವಿನ ಕಣಗಳು ಸ್ಥಿರ ಜಾಲಕದಲ್ಲಿ (fixed lattice) ಇರುವ ಕಾರಣ ವಸ್ತುವು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಆಕಾರ ಹೊಂದಬಲ್ಲದು. ಬಾಹ್ಯ ಒತ್ತಡದಿಂದ ವಿರೂಪಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ, ಒತ್ತಡ ಹೆಚ್ಚಾದಲ್ಲಿ ಕಣ-ಕಣಗಳ ನಡುವಿನ ಬಂಧಗಳು ಸಡಿಲಗೊಂಡು ವಸ್ತುವು ಮುರಿಯುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ದ್ರವ ಮತ್ತು ಅನಿಲ ಸ್ಥಿತಿಗಳಲ್ಲಿ, ಅಂದರೆ ತರಲ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ, ವಸ್ತುವಿನ ಕಣಗಳು ಸ್ಥಿರವಾಗಿ ನಿಲ್ಲದೆ, ಸ್ವತಂತ್ರವಾಗಿ ಎಲ್ಲಾ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲೂ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುತ್ತಿರುವ ಕಾರಣದಿಂದ ಸ್ವಂತ ಆಕಾರವಿಲ್ಲದೆ, ಸಂಗ್ರಾಹಕದ ಆಕಾರವನ್ನೇ ಪಡೆಯುತ್ತದೆ, ಒತ್ತಡಕ್ಕೊಳಗಾದಾಗ ಸರಾಗವಾಗಿ ಹರಿಯುತ್ತದೆ. ಇವೆಲ್ಲವೂ ನಮ್ಮ ಸಾಮಾನ್ಯ ಅನುಭವವೂ ಹೌದು.

ಘನವಸ್ತುಗಳು ಬಾಹ್ಯ ಒತ್ತಡಕ್ಕೊಳಗಾದಾಗ ಎಷ್ಟೆಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ವಿರೂಪವಾಗುತ್ತವೆ? ಘನ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವ ವಿವಿಧ ಪದಾರ್ಥಗಳ ಮುರಿತದ ಕ್ರಿಯಾವಿಧಾನಗಳೇನು? ಎಂಬುದು ಘನಶಾಸ್ತ್ರದ (solid mechanics) ವಿಷಯಗಳಾಗಿದ್ದರೆ, ತರಲವಸ್ತುವಿನ ಹರಿವಿನ ಚಲನವಲನದ ನಿಖರವಾದ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆ ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದ ಮುಖ್ಯ ಉದ್ದೇಶ. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಬಳಸುವ ಮೂರು ಪ್ರಮುಖ ವಿಧಾನಗಳ ಪರಿಚಯ ಮಾಡಿಕೊಳ್ಳೋಣ.

### 1. ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ವಿಧಾನಗಳು (Experimental methods)

ವಿಜ್ಞಾನದ ಹಲವಾರು ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿಯಂತೆ ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯ ಆರಂಭಿಕ ಶತಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಮುಖ್ಯ ಪಾಲು ವಹಿಸಿವೆ; ಅವು ಇಂದಿಗೂ ನಮ್ಮ ಜ್ಞಾನವರ್ಧನೆಯ ಪ್ರಮುಖ ವಿಧಾನಗಳು. ಒಂದು ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ಅರ್ಥೈಸಿಕೊಳ್ಳುವ ಉದ್ದೇಶದಿಂದ ರಚಿತವಾದ ಪ್ರಯೋಗವು ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ತನಿಖೆಯ ಮೂಲ ವಿಧಾನ. ತರಲಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರು ಬಹುತೇಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ತರಲವಸ್ತುಗಳ ಮೂಲಭೂತ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ನಿಖರವಾಗಿ ವಿಶ್ಲೇಷಿಸುವ ಧೈಯಕ್ಕಾಗಿ ರಚಿಸುತ್ತಾರೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಸುಂಟರುಗಳಿಯಲ್ಲಿ ಸುಳಿಯಂಥ ಚಲನೆಯ ಕಾರಣವೇನು? ಅದರ ಕಣ್ಣಿನಿಂದ ಅಂಚಿನವರೆಗೆ ಗಾಳಿಯ ಒತ್ತಡ ಹೇಗೆ ಬದಲಾಗುತ್ತದೆ? ನದಿಯಲ್ಲಿ ಕಾಣುವ ಸುಳಿಗೂ, ಇದಕ್ಕೂ ಹೋಲಿಕೆಯಿದೆಯೇ? ಇಂತಹ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳಿಗೆ ಗುಣಾತ್ಮಕ (qualitative) ಉತ್ತರಗಳಲ್ಲದೆ ಪರಿಮಾಣಾತ್ಮಕ (quantitative) ಕೊಡುವ ಸಲುವಾಗಿ ಗಾಳಿಯ ಒತ್ತಡದ, ವೇಗದ ನಿಖರ ಮಾಪನಗಳನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳುತ್ತಾರೆ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಅಂತಹ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳನ್ನು ಸಣ್ಣ ಮಾದರಿಯ ಮೂಲಕ ಪುನರಾವರ್ತಿಸಿ (ಪ್ರಸ್ತುತ ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಬಹುಶಃ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ತೊಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಸುಳಿಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿ) ಅದರ ಮೇಲೆ ನಾನಾ ರೀತಿಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡುತ್ತಾರೆ. ಇವುಗಳ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪರಿಶೀಲನೆಯ ಮೂಲಕ ರಚಿಸಲ್ಪಡುವ ಗಣಿತದ ಸಮೀಕರಣಗಳು (mathematical equations) ಆ ವಿದ್ಯಮಾನದ ಆಳವಾದ ತಿಳುವಳಿಕೆಯನ್ನು ನೀಡುತ್ತವೆ.



ಚಿತ್ರ 2(ಎ) - ಹಾಸನ ಜಿಲ್ಲೆಯ ಗೊರೂರಿನಲ್ಲಿರುವ ಹೇಮಾವತಿ ಜಲಾಶಯದ ಮುಂಭಾಗದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಲಾಗಿ ನೀರಿನ ಹರಿವನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸುವ 'ಸ್ಲಾಸ್ ಗೇಟ್' ಸಾಧನವನ್ನು ನೀರು ಹರಿದುಬರುವ ಕಾಲುವೆಯ ಮೇಲಿನ ಭಾಗ ನೋಡಬಹುದು. ಚಿತ್ರ 2(ಬಿ) - ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದಲ್ಲಿರುವ 'ಸ್ಲಾಸ್ ಗೇಟ್‌ನ ಸಣ್ಣ ಮಾದರಿ'.

ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಸಾಧನಗಳ ವಿನ್ಯಾಸ ಮತ್ತು ಅಭಿವೃದ್ಧಿಗೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಅತ್ಯವಶ್ಯಕ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಒಂದು ನದಿಗೆ ಅಡ್ಡಲಾಗಿ ಒಂದು ಆಣೆಕಟ್ಟು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಬೇಕೆಂದೆ ಎಂದಿಟ್ಟುಕೊಳ್ಳೋಣ. ಆಣೆಕಟ್ಟಿನ ಆಕಾರ, ಆಯಾಮಗಳು, ಅಡಿಪಾಯದ ರೀತಿ, ಮತ್ತು ಹಲವಾರು ಪ್ರಶ್ನೆಗಳಿಗೆ ಎಂಜಿನಿಯರುಗಳು ಸೂಕ್ತ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳಿಂದ ಅಂದಾಜು ಮಾಡಿರುತ್ತಾರೆ. ಆ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳನ್ನು ಆಧರಿಸಿ ಆಣೆಕಟ್ಟು ನಿರ್ಮಿತವಾದಲ್ಲಿ ಎಂಜಿನಿಯರುಗಳ ನಿರೀಕ್ಷೆಯಂತೆ ಕಾರ್ಯನಿರ್ವಹಿಸುತ್ತದೆಯೆ ಎಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆಯನ್ನು ಅದನ್ನು ಕಟ್ಟಿದ ನಂತರವೇ ಉತ್ತರಿಸಲಾಗುವುದೆ? ಇಲ್ಲ. ಆಣೆಕಟ್ಟಿನ ವಿನ್ಯಾಸದ ಸೂಕ್ತತೆಯನ್ನು ಖಚಿತಪಡಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ಅದೇ ಆಕಾರದ ಸಣ್ಣದ ಮಾದರಿಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿ, ವಿವಿಧ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ ಬೇಕಾದ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು (ಚಿತ್ರ 2 ನೋಡಿ). ಹೀಗೆ ವಿನ್ಯಾಸದ ಸುರಕ್ಷತೆ, ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆಯನ್ನು ದೃಢೀಕರಿಸಿಕೊಂಡ ನಂತರವೇ ಎಂಜಿನಿಯರುಗಳು ವಿನ್ಯಾಸವನ್ನು ಅಂತಿಮಗೊಳಿಸುತ್ತಾರೆ.

ಇದರಂತೆಯೇ ನಮ್ಮ ಭಾರತೀಯ ಲಘು ಯುದ್ಧ ವಿಮಾನ (Light Combat Aircraft) - ತೇಜಸ್ ನ (ಚಿತ್ರ 3 ನೋಡಿ) ವಿನ್ಯಾಸದ ಹಂತದಲ್ಲಿ ಎಂಜಿನಿಯರುಗಳು ಅದರ ಸಣ್ಣ ಗಾತ್ರದ ಮಾದರಿಯನ್ನು {ಚಿತ್ರ 3(ಬಿ)} ಬೆಂಗಳೂರಿನ ರಾಷ್ಟ್ರೀಯ ವೈಮಾಂತರಿಕ್ಷ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದಲ್ಲಿ (National Aerospace Laboratories) ಸ್ಥಾಪಿಸಿರುವ ಗಾಳಿಸುರಂಗದಲ್ಲಿಟ್ಟು (wind tunnel) ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ ಅದರ ಹಾರಾಟದ ಕಾರ್ಯಕ್ಷಮತೆಯನ್ನು ನಿಖರವಾಗಿ ದೃಢೀಕರಿಸಿಕೊಂಡರು; ವಿಮಾನವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುವ ಮುನ್ನವೇ ಅದರ ಬಹುತೇಕ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ತಿಳಿದುಕೊಂಡರು. ಇದರ ಮೇಲಾಗಿಯೂ ಅದರ ಪೂರ್ಣ ಪ್ರಮಾಣದ ಮೂಲಮಾದರಿಗಳ (prototype) ಮೇಲೆ ಇನ್ನೂ ಹಲವಾರು ಪರೀಕ್ಷೆಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದರು.



ಚಿತ್ರ 3(ಎ) - ಭಾರತೀಯ ವಾಯುಸೇನೆಯ ಬೆನ್ನೆಲುಬು ಆಗಿರುವ ಭಾರತೀಯ ಲಘು ಯುದ್ಧ ವಿಮಾನ (ತೇಜಸ್) ಹಾರಾಟದ ಒಂದು ನೋಟ. ಚಿತ್ರ 3(ಬಿ) - ವಿನ್ಯಾಸದ ಹಂತದಲ್ಲಿ ಅದರ ಸಣ್ಣ ಗಾತ್ರದ ಮೇಲೆ ಬೆಂಗಳೂರಿನ ರಾಷ್ಟ್ರೀಯ ವೈಮಾಂತರಿಕ್ಷ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದಲ್ಲಿರುವ ಗಾಳಿಸುರಂಗದಲ್ಲಿ ನಡೆಸಲಾದ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲೊಂದಿನ ಚಿತ್ರ.

ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗದ ತಂತ್ರಗಳು ಹಲವಾರು. ವಿವಿಧ ದ್ರವಗಳ ಪದಾರ್ಥಗಳಿಗೆ, ಹರಿವಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ, ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕಾದ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗಳ ಸ್ವರೂಪಕ್ಕೆ, ಅವಶ್ಯ ಮಾಪನಗಳ ಆಯ್ಕೆಗೆ ತಕ್ಕಂತೆ ಸೂಕ್ತ ತಂತ್ರಗಳನ್ನು ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂತಹ ಮಾಪಕಗಳ, ಸಂವೇದಕಗಳ (sensors) ಆವಿಷ್ಕಾರ, ಸಲಕರಣೆಗಳ ವಿನ್ಯಾಸಕ್ಕೆ ತರಲಶಾಸ್ತ್ರ ಮಾತ್ರವಲ್ಲದೆ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ವಿವಿಧ ಶಾಖೆಗಳ ಪರಿಣಿತಿ ಅಗತ್ಯ.



ಒಟ್ಟಾರೆ ಹೇಳಬೇಕಾದರೆ, ಮೂಲಭೂತ ಮತ್ತು ಅನ್ವಿತ (applied) ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪಾತ್ರ ಮಹತ್ವದ್ದು. ದಿನನಿತ್ಯದ ಜೀವನಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ಉಪಕರಣಗಳಿಂದ ಹಿಡಿದು ಆಧುನಿಕ ನಾಗರಿಕತೆಗೆ ಅವಶ್ಯವಾದ ಅಣೆಕಟ್ಟುಗಳು, ವಿಮಾನಗಳು, ಸೇತುವೆಗಳು, ಎತ್ತರದ ಕಟ್ಟಡಗಳು, ಯುದ್ಧ ಹಾಗೂ ಸಾರಿಗೆಯ ಹಡಗುಗಳು, ದ್ವಿಪಟಗಳ, ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನೌಕೆಗಳ ವಿನ್ಯಾಸಕ್ಕೆ ಮಾತ್ರವಲ್ಲದೆ ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳ ರಚನೆಗೆ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ವಿಧಾನಗಳು ಅನಿವಾರ್ಯ. ಈ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳ ಬಗ್ಗೆ ಈಗ ನೋಡೋಣ.

## 2. ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕ ವಿಧಾನಗಳು (Theoretical methods)

ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಸಿದ್ಧಾಂತವೆಂದರೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕಂಡುಬಂದ ಮಾಹಿತಿಗಳನ್ನು ಆಧರಿಸಿ, ಗಣಿತದ ಮೂಲಕ ರಚಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಪರಿಮಾಣಾತ್ಮಕ ಸಂಬಂಧಗಳು, ಹಾಗೂ ಒಂದು ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ಕಾರಣ-ಪರಿಣಾಮದ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ವಿವರಿಸಬಹುದಾದ ತತ್ವಗಳ ಸಂಗ್ರಹ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಎರಡು ಕಾಯಗಳ ನಡುವೆ ಸಂಭವಿಸುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಬಲವನ್ನು ನ್ಯೂಟನ್‌ನ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಅನುಸಾರವಾಗಿ ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ಬರೆಯಬಹುದು.

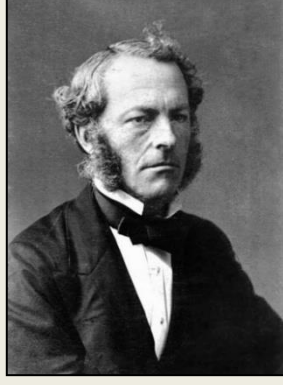
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ  $F$  - ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಬಲ,  $m_1, m_2$  - ಎರಡು ಕಾಯಗಳ ರಾಶಿಗಳು,  $r$  - ಅವುಗಳ ನಡುವಿನ ಅಂತರ, ಮತ್ತು  $G$  - ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಗುರುತ್ವ ನಿಯತಾಂಕ (universal gravitational constant). ಮೇಲಿನ ನಿಯಮದ ಜೊತೆಗೆ ನ್ಯೂಟನ್‌ನ ಎರಡನೆಯ ಸಂವೇಗ ನಿಯಮವು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯ ಪ್ರಭಾವದ ಅಡಿಯಲ್ಲಿರುವ ಎರಡೂ ಕಾಯಗಳ ಚಲನೆಯನ್ನು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ವಿವರಿಸುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣದ ಸಿದ್ಧಾಂತವೆನ್ನಬಹುದೇ? ಇಲ್ಲ. ಯಾಕೆಂದರೆ, ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣವು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಬಲದ ಉದ್ಭವದ ಕಾರಣವನ್ನು ವಿವರಿಸುವುದಿಲ್ಲ. ಎರಡು ರಾಶಿಯುಳ್ಳ ಕಾಯಗಳ ನಡುವಿನ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಬಲದ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನಷ್ಟೇ ನೀಡಬಲ್ಲದು. ಇದಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್‌ನ ಸಾಮಾನ್ಯ ಸಾಪೇಕ್ಷತೆಯು (general relativity) ಒಂದು ಸಿದ್ಧಾಂತ - ಒಂದು ಭಾರವಾದ ಕಾಯದಿಂದಂಟಾಗುವ ದೇಶ-ಕಾಲದ (space-time) ವಕ್ರತೆಯೇ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಬಲವಾಗಿ ಪ್ರಕಟವಾಗುತ್ತದೆ ಎಂಬುದಾಗಿ ಅದರ ಉದ್ಭವದ ಕಾರಣವನ್ನು ವಿಶ್ಲೇಷಿಸುತ್ತದೆ.

ಮೇಲಿನ ಉದಾಹರಣೆಯ ಕಾಯಗಳ ಚಲನೆಯಂತೆಯೇ ತರಲವಸ್ತುವಿನ ಚಲನವಲನಗಳನ್ನು ನಿಖರವಾದ ಗಣಿತ ರೂಪದಲ್ಲಿ ತಿಳಿಪಡಿಸುವ ಉದ್ದೇಶವನ್ನು ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕ ವಿಧಾನಗಳು ಹೊಂದಿವೆ. ಆದರೆ ಇಲ್ಲೊಂದು ಸಮಸ್ಯೆಯಿದೆ - ಮೇಲಿನ ಉದಾಹರಣೆಯಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಗಣಿತದ (algebraic) ಸಮೀಕರಣದಂತೆ ಸರಳ ರೂಪ ಹೊಂದಿಲ್ಲ. ಯಾಕೆಂದರೆ ಅವು ಆಂಶಿಕ ಅವಕಾಲನಾತ್ಮಕ ಸಮೀಕರಣಗಳ (partial differential equations) ಸಮೂಹ (ಚಿತ್ರ 4 ನೋಡಿ). ಇವುಗಳ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಪರಿಹಾರಕ್ಕಾಗಿ (general solution) ಇಂದಿಗೂ ಗಣಿತಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರು, ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರು, ಎಂಜಿನಿಯರುಗಳು ಮತ್ತು ವಿಜ್ಞಾನದ ವಿವಿಧ ಕ್ಷೇತ್ರದ ತಜ್ಞರು ಯತ್ನಿಸುತ್ತಿದ್ದಾರೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಸರಿಸುಮಾರು 200 ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆ ಸಮಾನಕಾಲಿಕವಾಗಿ ಮಂಡಿಸಿದ ಫ್ರಾನ್ಸಿಸ್ ಕ್ಲಾರ್ಡ್-ಲೂಯಿ ನಾವಿಯರ್ ಮತ್ತು ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ಜಾರ್ಜ್ ಗೇಬ್ರಿಯೆಲ್ ಸ್ಟೋಕ್ಸ್ ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಬ್ಬರ ಗೌರವಾರ್ಥವಾಗಿ 'ನಾವಿಯರ್-ಸ್ಟೋಕ್ಸ್ ಸಮೀಕರಣಗಳು' ಎಂದು ಹೆಸರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ಸಹಸ್ರಮಾನದ ಆರಂಭದಲ್ಲಿ ಅಮೆರಿಕಾದ 'ಕ್ಲೇ ಗಣಿತ ಸಂಸ್ಥೆ'ಯು (Clay Mathematical Institute) 2000ರ ಮೇ 8ರಂದು ನಾವಿಯರ್-ಸ್ಟೋಕ್ಸ್



ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಗಣಿತದ 7 ಅತ್ಯಂತ ಕಠಿಣ ಸಮಸ್ಯೆಗಳಲ್ಲೊಂದಂತೆ ಗುರುತಿಸಿ, ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಸಮಸ್ಯೆಯ ಪರಿಹಾರಕ್ಕೆ ತಲಾ ಒಂದು ದಶಲಕ್ಷ ಅಮೆರಿಕನ್ ಡಾಲರುಗಳ (ಸುಮಾರು 7.5 ಕೋಟಿ ರುಪಾಯಿಗಳು) ಬಹುಮಾನವನ್ನು ಘೋಷಿಸಿತು. ಈ 7 ಸಮಸ್ಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದರ ಪರಿಹಾರವನ್ನು 2003ರಲ್ಲಿ ರಷ್ಯಾದ ಗಣಿತಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞ ಗ್ರೆಗೊರಿ ಪೆರೆಲ್ಮನ್ ರವರು ಕೊಟ್ಟರು; ಸಂಸ್ಥೆಯ ಪ್ರತಿಷ್ಠಿತ ಬಹುಮಾನದ ಹಣವನ್ನು ನಿರಾಕರಿಸಿ ಹಲವರಲ್ಲಿ ಅಚ್ಚರಿ ಮೂಡಿಸಿದರು. ಆದರೆ ನಾವಿಯರ್-ಸ್ಪೋಕ್ಸ್ ಸಮೀಕರಣಗಳ ಸಮಸ್ಯೆ ಇನ್ನೂ ಹಾಗೆಯೇ ಉಳಿದಿದೆ.



ನಾವಿಯರ್-ಸ್ಪೋಕ್ಸ್ ಸಮೀಕರಣಗಳು

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re} \left[ \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right] + \rho f_x$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re} \left[ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right] + \rho f_y$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re} \left[ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right] + \rho f_z$$

ಚಿತ್ರ 4 – ಫ್ರಾನ್ಸಿನ ಕ್ಲಾಡ್-ಲೂಯಿ ನಾವಿಯರ್ ಮತ್ತು ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ಜಾರ್ಜ್ ಗೇಬ್ರಿಯೆಲ್ ಸ್ಪೋಕ್ಸ್ ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿರ ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದ ಬುನಾದಿಯಾಗಿರುವ 'ನಾವಿಯರ್-ಸ್ಪೋಕ್ಸ್' ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು 19ನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಮಂಡಿಸಿ

ಇಷ್ಟು ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾದ, ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಪರಿಹಾರ ಲಭಿಸದ, ಸಮೀಕರಣಗಳ ಪ್ರಯೋಜನವಿದೆಯೇ? ಸಮಸ್ಯೆಯ ಪರಿಹಾರವಲ್ಲವೆ ನಮಗೆ ಉಪಯುಕ್ತವಾದುದು? ಇದು ನಿಜ. ಆದರೆ ಈ ಸಮೀಕರಣಗಳಿಗೆ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಪರಿಹಾರ ದೊರೆತಿಲ್ಲವಷ್ಟೆ. ತರಲ ಹರಿವಿನ ಕೆಲವು ವಿಶೇಷ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ನಿರ್ದಿಷ್ಟವಾದ, ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾದ ಪರಿಹಾರಗಳು ಲಭಿಸಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಲು ಒಂದು ಸರಳ ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನು ನೋಡೋಣ.

ನಾವು ಒಂದು ಉರಿನಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ಉರಿಗೆ ಹೋಗಬೇಕಾಗಿದೆ ಎಂದಿಟ್ಟುಕೊಳ್ಳೋಣ. ಪ್ರಯಾಣವು ಬಸ್ಸಿನಲ್ಲೋ ರೈಲಿನಲ್ಲೋ ಆಗಬೇಕಿದ್ದರೆ ಸಂಚಲನೆಯ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಚಾಲಕನಿಗೆ ಬಿಟ್ಟು ಹಾಯಾಗಿ ಮಲಗಿಕೊಂಡೋ, ಮೊಬೈಲ್ ನಲ್ಲಿ ಸಂಗೀತವನ್ನು ಕೇಳಿಕೊಂಡೋ ಹೋಗುತ್ತೇವೆ. ಆದರೆ ಪ್ರಯಾಣಕ್ಕಾಗಿ ನಾವೇ ಕಾರನ್ನು ಚಾಲಿಸಬೇಕಾಗಿದ್ದರೆ ಆ ಪ್ರದೇಶದ ನಕ್ಷೆಯನ್ನು ನೋಡಿ, ಯಾವ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಚಲಿಸಬೇಕು? ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಬೇಕಾದ ರಸ್ತೆ ಯಾವುದು? ಎಂದು ಗುರುತಿಸಿ ಸರಾಗವಾಗಿ ಪ್ರಯಾಣ ಮಾಡುತ್ತೇವೆ. ಸ್ಥಳೀಯ ಏರುಪೇರುಗಳನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ, ಗೋಳಾಕೃತಿಯ ಭೂಮಿಯನ್ನು ಸಮತಲದಂತೆಯೇ ನೋಡುತ್ತೇವೆ. ಆದರೆ ಒಂದು ದೇಶದಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ದೇಶಕ್ಕೆ ವಿಮಾನಯಾನ ಮಾಡಿಸುವ ವಿಮಾನದ ಚಾಲಕನು ಭೂಮಿಯನ್ನು ಅದರ ನೈಜ ಗೋಳಾಕಾರದಂತೆಯೇ ಪರಿಗಣಿಸಬೇಕು. ಇದು ಯಾಕೆಂದರೆ ನಾವು ನಮ್ಮ ಕಾಲ್ನಡಿಗೆಯಿಂದಲೋ, ಬಸ್ಸು-ಕಾರುಗಳಿಂದಲೋ ಮಾಡುವ ಪ್ರಯಾಣದಿಂದ ಸಹಜವಾಗಿ ಕ್ರಮಿಸುವ ದೂರವು ಭೂಮಿಯ ತ್ರಿಜ್ಯದ (radius) ಹೋಲಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ಸಣ್ಣ ಪ್ರಮಾಣದ್ದು. ಆದರೆ ಸಾಗರಯಾನದಲ್ಲಿ, ವಿಮಾನಯಾನದಲ್ಲಿ ಪ್ರಯಾಣದ ದೂರ ಭೂಮಿಯ ತ್ರಿಜ್ಯಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಬಹುದಷ್ಟಾದಂತೆ ಭೂಮಿಯ ವಕ್ರತೆಯ ಪರಿಣಾಮಗಳು ಗಮನಾರ್ಹವಾಗುತ್ತವೆ. ಹೀಗೆ ಸಂದರ್ಭಕ್ಕನುಗುಣವಾಗಿ ನಾವು ನಮ್ಮ ದೃಷ್ಟಿಯನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತೇವೆ.

ಅಂತೆಯೇ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಕಠಿಣವಾದ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಸರಳೀಕೃತ ಸಂದರ್ಭಗಳಿಗೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸಿ, ಪರಿಹಾರ ಸಂಶೋಧಿಸುವ ಪ್ರಯಾಸದಲ್ಲಿ ತೊಡಗುತ್ತಾರೆ. ಇದರಿಂದ ನಾವು ಆಯಾ ಸಂದರ್ಭಗಳ ಚೌಕಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ತರಲವಸ್ಥುವಿನ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳ ತಿಳುವಳಿಕೆಯನ್ನು ಪಡೆಯಬಹುದು. ದ್ರವದ ಸ್ನಿಗ್ಧತೆ (viscosity) ಕಡಿಮೆಯಿದ್ದಲ್ಲಿ, ಹರಿವು ಸ್ತಿಮಿತವಾದ್ದಲ್ಲಿ (steady), ಅತಿ ವೇಗದ (ಶಬ್ದದ ವೇಗಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಿನ) ಹರಿವಿನ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ, ಅತ್ಯಂತ ಮಂದ ವೇಗದ ಹರಿವಾದಲ್ಲಿ, ಹೀಗೆ ವಿಭಿನ್ನ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಗಣಿತದ ತಂತ್ರಗಳಿಂದ ಬಾಗಿಸಿ ಬಳಸಿ ಮೂಲ ರೂಪದಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾದ, ಸಂದರ್ಭಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗುವ, ಸರಳೀಕೃತ ರೂಪಕ್ಕೆ ತರಬಹುದು. ಹೀಗೆ ರೂಪಾಂತರಗೊಂಡ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಗಣಿತದ ವಿವಿಧ ಸೂತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ಪರಿಹರಿಸಬಹುದು.

ಆದರೆ ಮೂಲ ನಾವಿಯರ್-ಸ್ಟೋಕ್ಸ್ ಸಮೀಕರಣಗಳಾದರೂ ಹೇಗೆ ಬಂದವು? ಉತ್ತರ; ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪರಿಶೀಲನೆ ಮತ್ತು ಸಮೀಕರಣಗಳ ರಚನಾಕಾರರ ಕಲ್ಪನಾಶಕ್ತಿಯ ಸಂಯೋಜನೆಯ ಮೂಲಕ. ತರಲಸ್ಥಿತಿಯ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾಗಿ ಗಮನಿಸಿ, ಅವುಗಳನ್ನು ಆಧರಿಸಿದ, ಅಂತರಕ್ರಿಯೆಗಳ ಮಾದರಿಯ ಕಲ್ಪನೆಯಿಂದ ಒಂದು ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಮೊದಲ ಹೆಜ್ಜೆ ಹಾಕುತ್ತದೆ. ಈ ಹಂತವು ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಸೃಜನಶೀಲತೆಯನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸುತ್ತದೆ ಎಂದರೆ ತಪ್ಪಾಗಲಾರದು. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಒಂದು ಸಂಗ್ರಾಹಕದಲ್ಲಿರುವ ಅನಿಲವು ಅದರ ಗೋಡೆಗಳ ಮೇಲೆ ಒತ್ತಡ ಬೀರುತ್ತದೆ; ಅದರ ತಾಪಮಾನಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಎಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಒತ್ತಡ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ ಎಂದೆಲ್ಲಾ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ ನಾವು ತಿಳಿದೆವು ಎಂದಿಟ್ಟುಕೊಳ್ಳೋಣ. ಆದರೆ ಅದರ ಕಾರಣವೇನು? – ಎಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆಗೆ ಅನಿಲಗಳ ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತವು (kinetic theory of gases) ನಮಗೆ ಉತ್ತರವನ್ನು ನೀಡುತ್ತದೆ; ಅನಿಲದ ಕಣಗಳು ಎಲ್ಲಾ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲೂ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವುದರಿಂದ, ಒಂದಕ್ಕೊಂದರ ನಡುವೆ ಹಾಗೂ ಸಂಗ್ರಾಹಕದ ಗೋಡೆಗಳ ಕಣಗಳ ಜೊತೆ ಆಗುವ ಸಂಘರ್ಷಣೆಗಳು (collisions) ಸಂಚಿತವಾಗಿ ಒತ್ತಡದಂತೆ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಇಲ್ಲಿ ಅನಿಲಗಳ ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಬುನಾದಿ ಪ್ರಯೋಗವಾದರೆ, ಅದರ ನೈಜದ (correctness) ಪರೀಕ್ಷೆಯೂ ಪ್ರಯೋಗವೇ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಸರಿಯಾಗಿದೆಯೇ? ತಪ್ಪೇ? ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ ಇದನ್ನು ದೃಢೀಕರಿಸಿಕೊಳ್ಳಬಹುದು.

ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನು ಹಾಗೂ ಅವುಗಳ ಸರಳೀಕೃತ ರೂಪಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ ಪರೀಕ್ಷಿಸಿ ವೃದ್ಧಿಸುತ್ತಾರೆ.

### 3. ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ವಿಧಾನಗಳು (Numerical methods)

ಮೇಲ್ಕಂಡ ಪ್ರಯೋಗಾತ್ಮಕ ಮತ್ತು ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕ ವಿಧಾನಗಳಿಗಿಂತ ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ವಿಧಾನಗಳು ಇತ್ತೀಚಿನವು; ಎರಡನೆ ಮಹಾಯುದ್ಧದ ಅಂತ್ಯದಿಂದ ಸುಮಾರು 70 ವರ್ಷಗಳಿಂದ ಬೆಳೆದುಬಂದಿವೆ. ಇವನ್ನು ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಲು ಒಂದು ಸರಳ ವರ್ಗಸಮೀಕರಣವನ್ನು (quadratic equation) ಪರಿಗಣಿಸೋಣ:

$$x^2 - 7x + 10 = 0$$

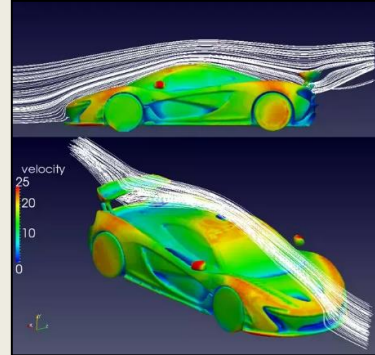
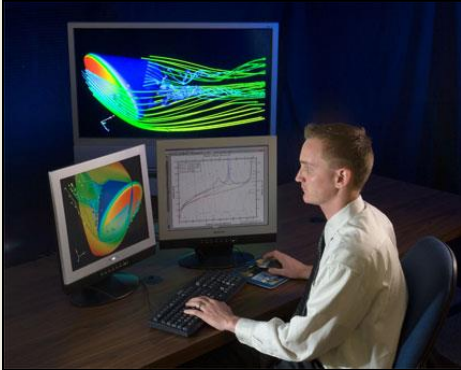
ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದ ಶೂನ್ಯವನ್ನು ಪಡೆಯಲು,  $x$  ನ ಯಾವ ಮೌಲ್ಯಗಳು ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ಸರಿಹೊಂದುತ್ತವೆ ಎಂದು, ತಿಳಿಯಬೇಕಿದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ನಾವು ವರ್ಗಸೂತ್ರವನ್ನು ಬಳಸಿದಾಗ,  $x$  ನ ಮೌಲ್ಯಗಳು 2 ಮತ್ತು 5 ಎಂದು ತಿಳಿದುಬರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು

ಓದುಗರು ಪರೀಕ್ಷಿಸಬಹುದು. ಒಂದು ವೇಳೆ ಶೂನ್ಯವನ್ನು ಪಡೆಯುವುದು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲದಿದ್ದರೆ ಏನು ಮಾಡುವುದು? ಆಗ ಅವುಗಳ ಸನ್ನಿಹಿತ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ನಾವು ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಲೆಕ್ಕಿಸಬಹುದು. ಇದು ಹೇಗೆಂದು ನೋಡೋಣ.

ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ  $x$  ನ ಒಂದು ಮೌಲ್ಯವನ್ನು 1 ಎಂದು ಊಹಿಸೋಣ. ಈ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದ ಎಡಭಾಗದ ಗುಣತೋತ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿದಾಗ, ಅದರ ಮೌಲ್ಯ 0 ಬದಲು 4 ಬರುತ್ತದೆ. ಯಾಕೆಂದರೆ ನಮ್ಮ ಮೊದಲ ಊಹೆ  $x$  ನ ಮೌಲ್ಯವಲ್ಲ; ಇದು ನಮ್ಮ ನಿರೀಕ್ಷೆಯಂತೆಯೇ. ಅದೇ ರೀತಿ ಇನ್ನೊಂದು ಊಹೆ ಮಾಡೋಣ, - 3 ಎಂದು. ಈಗ ಗುಣತೋತ್ತಿಯ ಮೌಲ್ಯ -2 ಆಗಿದೆ. ಇದರರ್ಥ - ನಮ್ಮ ಈ ಎರಡು ಊಹೆಗಳ ನಡುವೆ ಯಾವುದೋ ಒಂದು ಮೌಲ್ಯ ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ಸರಿಹೊಂದುತ್ತದೆ; ಆ ಮೌಲ್ಯದ ಗುಣತೋತ್ತಿಯ ಮೌಲ್ಯ 0 ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಹಾಗಾಗಿ ಈ ಮೇಲಿನ ಉಹಾಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಮತ್ತೆ ಮತ್ತೆ ಮಾಡುವುದರಿಂದ  $x$  ನ ಮೌಲ್ಯಕ್ಕೆ (ಶೂನ್ಯ) ಸನಿಹವಾದ ಮೌಲ್ಯ ದೊರಕುತ್ತದೆ. ಇದೇ ತಂತ್ರವನ್ನು ಎರಡನೆಯ ಶೋಧನೆಗೂ ಬಳಸಿ ನಾವು ಶೂನ್ಯವಲ್ಲದಿದ್ದರೂ, ಇದಕ್ಕೆ ಅತ್ಯಂತ ಸನ್ನಿಹಿತ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಪಡೆಯಬಹುದು.

ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದ ಸಮೀಕರಣಗಳು ಕಠಿಣವಾದ್ದರಿಂದ, ತಜ್ಞರು ಇಂತಹದ್ದೇ ಮಾರ್ಗ ಅನುಸರಿಸುತ್ತಾರೆ. ಆದರೆ ಇದಕ್ಕೆ ಮಾಡಬೇಕಾದ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಸಹಜವಾಗಿ ಲಕ್ಷಗಟ್ಟಲೆಯಾದ್ದರಿಂದ ಕಂಪ್ಯೂಟರಿನ ಸಹಾಯದಿಂದಲೇ ಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಹಾಗಾಗಿ ವರ್ಷದಿಂದ ವರ್ಷಕ್ಕೆ ಕಂಪ್ಯೂಟರಿನ ಸಂಸ್ಕರಣಾಶಕ್ತಿ (processing power) ಬೆಳೆದಂತೆ ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ವಿಧಾನಗಳ ಬಳಕೆಯೂ ಬೆಳೆಯುತ್ತಾ ಬಂದಿದೆ. ಈ ನೂತನ ವಿಧಾನಗಳ ಜನಪ್ರಿಯತೆಗೆ ಹಲವಾರು ಕಾರಣಗಳಿವೆ. ಮೊದಲನೆಯದಾಗಿ, ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ವಿಧಾನಗಳಿಗೆ ಬೇಕಾದಂತೆ ಹೆಚ್ಚು ಸಮಯ ಹಾಗೂ ಹಣದ ಅವಶ್ಯವಿಲ್ಲ - ಒಂದು ಉತ್ತಮ ಕಂಪ್ಯೂಟರಿದ್ದರೆ ಸಾಕು. ಆದ್ದರಿಂದ ಸಂಶೋಧನೆಗೆ ಬೇಕಾದ ಖರ್ಚು-ವೆಚ್ಚದಲ್ಲಿ ಗಮನಾರ್ಹ ಉಳಿತಾಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಎರಡನೆಯದಾಗಿ, ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿಯಂತೆ ಕೇವಲ ಸರಳ ಸಂದರ್ಭಗಳಿಗಾಗಿ ಮಾತ್ರವಲ್ಲದೆ, ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಕಷ್ಟದ ಸಮಸ್ಯೆಗಳನ್ನೂ ನಿಭಾಯಿಸಬಲ್ಲವು. ಯಾಕೆಂದರೆ ಇವು ನಿಖರವಾದ ಪರಿಹಾರಗಳ ಬದಲು ಅವುಗಳಿಗೆ ಸನ್ನಿಹಿತವಾದ ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ನೀಡುತ್ತವೆ. ಆದರೆ ಕಂಪ್ಯೂಟರನ್ನು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿ ಪ್ರಯೋಗಿಸಲು ಉತ್ತಮ ಕಂಪ್ಯೂಟರಿನ ಪ್ರೋಗ್ರಾಮ್ ಗಳ ರಚನೆ ಅಗತ್ಯ. ಹಾಗಾಗಿ, ಈ ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ಬಳಸಲು ಭೌತ, ಗಣಿತ ವಿಜ್ಞಾನಗಳ ಜೊತೆ ಕಂಪ್ಯೂಟರ್ ವಿಜ್ಞಾನದ ಪರಿಣಿತಿಯೂ ಸ್ವಲ್ಪಮಟ್ಟಿಗೆ ಅವಶ್ಯ.

ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ವಿಧಾನಗಳು ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಮೂಲಭೂತ ಸಂಶೋಧನೆಗೂ, ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದ ತತ್ವಗಳ ಆಧಾರಿತ ಪರಿಕರಣಗಳ ವಿನ್ಯಾಸಕ್ಕೂ ಒಂದು ಹೊಸ ಆಯಾಮ ತಂದುಕೊಟ್ಟಿವೆ. ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ವಿಜ್ಞಾನ ಹಾಗೂ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ



ಚಿತ್ರ 5 (ಎ) – ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನು ಆಧರಿಸಿದ, ಗಣಿತದ ರೂಪದಲ್ಲಿರುವ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ವಿಧಾನಗಳ ಮೂಲಕ ಕಂಪ್ಯೂಟರಿನ ಸಹಾಯದಿಂದ ಪರಿಹರಿಸುತ್ತಿರುವುದು. ಚಿತ್ರ 5 (ಬಿ) – ಅಂತಹ ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ಪರಿಹಾರಗಳಿಂದ ಗಾಳಿಯಿಂದ ಆಗುವ ಘರ್ಷಣಾಬಲವನ್ನು ಕಡಿಮೆಗೊಳಿಸುವ ಸಲುವಾಗಿ ಒಂದು ಕಾರಿನ ಆಕಾರವನ್ನು ಉತ್ತಮಗೊಳಿಸಬಹುದು. ಇಲ್ಲಿ ಬಿಳಿಯ ರೇಖೆಗಳು ಗಾಳಿಯ ಚಲನದ ಧಾರಾರೇಖೆಗಳಾಗಿವೆ (streamlines).

ಬಹುತೇಕ ಸಮಸ್ಯೆಗಳಿಗೆ ಶಕ್ತಿಯುತ ಕಂಪ್ಯೂಟರ್ ಗಳ ನೆರವಿನಿಂದ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳ ತಿಳುವಳಿಕೆಯನ್ನು ವೃದ್ಧಿಸುವುದು, ವಿನ್ಯಾಸದ ವಿವಿಧ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿ ಉತ್ತಮಗೊಳಿಸುವುದು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿದೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಇಂದು ಗಾಳಿಯಿಂದಂಟಾಗುವ ಘರ್ಷಣಾಬಲವನ್ನು ಕಡಿಮೆಗೊಳಿಸುವ ಸಲುವಾಗಿ ಕಂಪ್ಯೂಟರ್ ನೆರವಿನಿಂದ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಕಾರಿನ ಆಕಾರವನ್ನು ವಿನ್ಯಾಸ ಮಾಡಲಾಗುತ್ತದೆ. ಹವಾಮಾನಶಾಸ್ತ್ರ ಇಲಾಖೆಗಳು ಇಂದಿನ ಹವಾಮಾನದ ಸ್ಥಿತಿಯ ಜೊತೆಗೆ ಹವಾಮಾನದ ವರ್ತನೆಯನ್ನು ವಿವರಿಸುವ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಬಳಸಿ ಕಂಪ್ಯೂಟರಿನಿಂದ ಮಾಡಿದ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ಮುನ್ಸೂಚನೆ ನೀಡುತ್ತವೆ. ನಾವು ದಿನನಿತ್ಯ ಬಳಸುವ ಮೊಬೈಲ್ ಗಳಲ್ಲಿ ಮತ್ತು ಕಂಪ್ಯೂಟರ್ ಗಳಲ್ಲಿ ಸಂಸ್ಕಾರಕಗಳ (processor) ಶಾಖಾಸೋರುವಿಕೆಯನ್ನು (heat dissipation) ಸರಿಯಾಗಿ ನಿಯಂತ್ರಿಸಲು ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ ಘಟಕಗಳ ಮೇಲಿನ ಗಾಳಿಯ ಸಂಚಲನೆಯನ್ನು ಎಂಜಿನಿಯರುಗಳು ಕಂಪ್ಯೂಟರಿನ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳಿಂದ ಪರಿಶೀಲಿಸುತ್ತಾರೆ. ಹೀಗೆ ವಿಜ್ಞಾನದ ಮತ್ತು ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದ ಹೆಚ್ಚುಕಡಿಮೆ ಎಲ್ಲ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಇಂದು ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ವಿಧಾನಗಳ ಬಳಕೆ ನೋಡಬಹುದು.

ಇಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ವಿಧಾನಗಳು ಕೆಲವೊಂದು, ಹಿಂದೆ ಬಗೆಹರಿಸಲಾಗದ ಸಮಸ್ಯೆಗಳ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ತನಿಖೆಗೆ ನೂತನ ಮಾರ್ಗ ದೊರಕಿಸಿವೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಸೂರ್ಯನ ಒಳಗೆ ಆಗುವ ಉನ್ನತ ತಾಪಮಾನದ ಪ್ಲಾಸ್ಮಾಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವ ಕಣಗಳ ನಡುವಿನ ಪರಮಾಣು ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗಳು, ಅವುಗಳ ಚಲನವಲನ ಮತ್ತು ಅವುಗಳಿಂದ ಸಂಭವಿಸುವ ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳು (electromagnetic fields), ಇನ್ನೂ ಹಲವಾರು ವಿವರಗಳನ್ನು ಇಂದು ಕಂಪ್ಯೂಟರಿನಲ್ಲಿ ಸಮೀಕರಣಗಳ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳ ಮೂಲಕ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ತಿಳಿದುಕೊಳ್ಳುತ್ತಾರೆ. ಹೀಗೆ ಲಭಿಸಿದ ಫಲಿತಾಂಶಗಳು ಸರಿಯೆ ಎಂದು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕವೇ ಪರೀಕ್ಷಿಸುತ್ತಾರೆ. ಹಾಗಾಗಿ, ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿನ ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ವಿಧಾನಗಳು ಪ್ರಯೋಗಾತ್ಮಕ ಮತ್ತು ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕ ವಿಧಾನಗಳ ಜೊತೆಗೆ ಬಹಳ ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನು ಹಾಗೂ ತಾಂತ್ರಿಕ ವಿನ್ಯಾಸವನ್ನು ನಿರ್ವಹಿಸಲು ಮಹತ್ವದ ಪಾತ್ರ ವಹಿಸುತ್ತಿವೆ.

### ಸಾರಾಂಶ ಮತ್ತು ಅವಲೋಕನ

ತರಲಶಾಸ್ತ್ರವು ವಿಜ್ಞಾನ ಹಾಗೂ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಅಪಾರ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ಇದರ ಅಧ್ಯಯನವು ಪ್ರಯೋಗಗಳ, ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳ ಮೂಲಕ ಬಹುಕಾಲದಿಂದ ನಡೆದುಬಂದು ಇಂದು ಕಂಪ್ಯೂಟರಿನ ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಸಮೃದ್ಧಿಯಾಗಿ ಬೆಳೆಯುತ್ತಿದೆ. ವಿಜ್ಞಾನದ ಈ ಕ್ಷೇತ್ರವು ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರನ್ನು, ಗಣಿತಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರನ್ನು, ಎಂಜಿನಿಯರುಗಳನ್ನು, ಜೀವಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರನ್ನು, ಹಾಗೂ ಇನ್ನೂ ವಿವಿಧ ಪರಿಣಿತಿಯ ತಜ್ಞರನ್ನು ಸೆಳೆಯುತ್ತಿದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣ ನಮ್ಮ ದೈನಂದಿನ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ತರಲವಸ್ತುಗಳ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯತೆ ಹಾಗೂ ಅವುಗಳ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸುವ ಸಮೀಕರಣಗಳ ಕ್ಲಿಷ್ಟತೆ. ಪ್ರಸ್ತುತ ಲೇಖನದ ಓದುಗರಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಮಂದಿ ಶಾಲಾ-ಕಾಲೇಜುಗಳಲ್ಲಿ ಓದುತ್ತಿರುವ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳೂ ಇರುವುದರಿಂದ ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಆಸಕ್ತಿಯುಳ್ಳವರಿಗೆ



ನಾನಿಲ್ಲಿ ಒಂದಿಷ್ಟು ಅಂಶಗಳನ್ನು ಕೊಡಬಯಸುತ್ತೇನೆ. ತರಲಶಾಸ್ತ್ರದ ಅಧ್ಯಯನದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಿಂದ ಸಮಸ್ಯೆಗಳು ಬರುತ್ತವೆ. ಪದವಿಯ ನಂತರ ಯಾವ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತೇವೆ ಎಂದು ಮುಂಚಿತವಾಗಿಯೇ ಹೇಳುವುದು ಕಷ್ಟವಾದ್ದರಿಂದ ಇವೆಲ್ಲಾ ಸಮಸ್ಯೆಗಳಿಗಿರುವ ಸಾಮಾನ್ಯವಾದ ಮುಖ್ಯಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸುವುದು ಸೂಕ್ತ. ನನ್ನ ಅಭಿಪ್ರಾಯದಲ್ಲಿ ಅವು - ಗಣಿತ ಹಾಗೂ ಕಂಪ್ಯೂಟರ್ ಪ್ರೋಗ್ರಾಮಿಂಗ್. ಹಲವಾರು ಗಣಿತೀಯ, ಮತ್ತು ವಿವರಣಾತ್ಮಕ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳೆನಿಸಿಕೊಂಡಿದ್ದ ಜೀವಶಾಸ್ತ್ರದ ಹಲವು ವಿಭಾಗಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇಂದು ಗಣಿತದಿಂದ ರಚಿತವಾದ ಸಮೀಕರಣಗಳ ಹಾಗೂ ಕಂಪ್ಯೂಟರಿನಿಂದ ಲಭಿಸುವ ಅವುಗಳ ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ಪರಿಹಾರಗಳ ಬಳಕೆ ವ್ಯಾಪಕವಾಗಿದೆ. ಸೋಂಕುಶಾಸ್ತ್ರ (epidemiology), ತಳಿವಿಜ್ಞಾನ (genetics), ಜೈವಿಕ ಮಾಹಿತಿ ವಿಜ್ಞಾನ (bioinformatics) ಅಂತಹ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳ ಕೆಲವು ಉದಾಹರಣೆಗಳು. ಕೊಳವೆಗಳ ಮೂಲಕ ಹರಿಯುವ ನೀರಿನ ಬಗೆಗಿನ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳನ್ನು ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದ ಯಾಂತ್ರಿಕ ಎಂಜಿನಿಯರುಗಳೆಂದು ರಕ್ತನಾಳಗಳ ಒಳಗೆ ರಕ್ತಸಂಚಲನೆಯನ್ನು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡುವ ಆಶ್ಚರ್ಯಕರ ಬದಲಾವಣೆಗಳಾಗಿವೆ. ಇಂದಿನ ಮತ್ತು ಮುಂಬರುವ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಹಾಗೂ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದ ಸಮಸ್ಯೆಗಳಿಗೆ ಗಣಿತದ ಹಾಗೂ ಕಂಪ್ಯೂಟರಿನಿಂದ ಪಡೆಯಬಹುದಾದ ಪರಿಹಾರಗಳ ಪ್ರಭಾವವು ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತಿದೆ. ಹೀಗಾಗಿ ಇವೆರಡರ ಪರಿಣಿತಿಯನ್ನು ಪಡೆಯುವುದು ವಿವೇಕಯುತವಾದುದು. ಇವೆರಡರ ಜೊತೆಗೆ ಆಯಾ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳ ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಜ್ಞಾನವೂ ಕ್ರಮೇಣವಾಗಿ ಸೇರುವುದರಿಂದ ಒಬ್ಬ ಉತ್ತಮ ತಜ್ಞನಾಗಿ ಸಮಾಜದ ಸಮಸ್ಯೆಗಳಿಗೆ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಚಿಂತನೆಯಿಂದ ಸೂಕ್ತ ಪರಿಹಾರಗಳನ್ನು ನೀಡಬಹುದು.

Dr. Srinivasa Kirthy has a Ph. D. in physics from the Indian Institute of Science, Bengaluru. He is a Combustion Engineer at GE Vernova Advanced Research Center, Bengaluru.

ಹೆಚ್ಚಿನ ಓದಿಗಾಗಿ:

1. Arakeri J. (2000), Bernoulli's equation, Resonance, Indian Academy of Sciences, Vol. 5, No. 8, pp. 54-71  
(<https://www.ias.ac.in/article/fulltext/reso/005/08/0054-0071>)
2. Govardhan R., Ramesh O. N. (2005), A stroll down Karman Street, Resonance, Indian Academy of Sciences, Vol. 10, No. 8, pp. 25-37  
(<https://www.ias.ac.in/article/fulltext/reso/010/08/0025-0037>)
3. Narasimha R. (2005), The Challenge of Fluid Flow (Part 1), Resonance, Indian Academy of Sciences, Vol. 10, No. 8, pp. 67-79  
(<https://www.ias.ac.in/article/fulltext/reso/010/08/0067-0079>)
4. Narasimha R. (2005), The Challenge of Fluid Flow (Part 2), Resonance, Indian Academy of Sciences, Vol. 10, No. 9, pp. 6-22  
(<https://www.ias.ac.in/article/fulltext/reso/010/09/0006-0022>)

\*\*\*\*\*



## ಪಲಾಯನವಾದಿ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು

ಡಾ. ಶಾರದಾ ನಾಗಭೂಷಣ

ತಾರಾಗಣದಲ್ಲಿರುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ತಮ್ಮ ಗುರುತ್ವಕೇಂದ್ರದ ಸುತ್ತಲೂ ಪರಿಭ್ರಮಿಸುತ್ತಿವೆಯಷ್ಟೆ. ಆದರೆ ಕೆಲವು ಯುಗಳ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಒಂದನ್ನೊಂದು ಪ್ರತಿಭಟಿಸಿದಾಗ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ತಾರೆಯು ತನ್ನ ಕಕ್ಷೆಯಿಂದ ಹೊರಬಂದು ಓಡಿ ಪಲಾಯನವಾಗುತ್ತವೆ ಎಂದು ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ವೀಕ್ಷಣೆಯಿಂದ ತಿಳಿದುಬಂದಿದೆ. ನಮ್ಮ ಕ್ಷೀರಪಥ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯೊಂದರಲ್ಲೇ 100 ದಶಲಕ್ಷ ಪಲಾಯನಗೈದು ಓಡಿಹೋಗುತ್ತಿರುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಿವೆಯೆಂದು ಗುರುತಿಸಿದ್ದಾರೆ. ಮೊದಲು ಗುರುತಿಸಿದ ಇಂತಹ ಪಲಾಯನವಾದಿ ತಾರೆಯೆಂದರೆ ಕಪ್ಪಿಯನ್ ನಕ್ಷತ್ರ (*Kapteyn's star*). ಇದು ಭೂಮಿಗೆ ಅತಿ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ 132 ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷ ದೂರದಲ್ಲಿ ಸೂರ್ಯನ ಪ್ರತಿಶತ 30 ಭಾಗ ಮಾತ್ರ ಗಾತ್ರವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಮಂದ ಪ್ರಕಾಶದ ಉಪಕುಬ್ಜವಾಗಿದೆ. ಇದು ಆಮ್ಲಜನಕ, ಇಂಗಾಲ, ಸಿಲಿಕಾನ್ ಮತ್ತು ಜಲಜನಕ, ಹೀಲಿಯಂನಿಂದ ಕೂಡಿದ್ದು, ಕ್ಷೀರಪಥ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯಲ್ಲಿ ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳಿಂದ 245 ಕಿ.ಮೀ./ಸೆಕೆಂಡ್ ತ್ರಿಜ್ಯೆಯ ವೇಗದಿಂದ ಓಡುತ್ತಿದೆ.

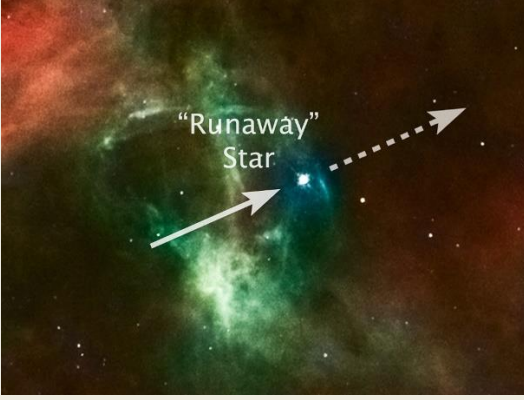
### ಓಡಿಹೋಗುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಉಂಟಾಗುವ ಬಗೆ

ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಸೂಪರ್‌ನೋವಾ ಸ್ಫೋಟ ಸಂಭವಿಸಿದಾಗ ಅದರ ಒಡನಾಡಿಯು ಪಲಾಯನ ಗೈದು ಓಡುತ್ತವೆ. ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಓಡಿಹೋಗುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು, ಸ್ಫೋಟಗೊಳ್ಳುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಿಂದಲೂ ಉದಯವಾಗಬಹುದು. ಕೆಲವು ಯುಗಳ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಾಗಿ ಅನೇಕ ಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳು ಜೀವಿಸಿದ್ದು ಅಕಸ್ಮಾತ್ ಕಪ್ಪುರಂದ್ರದ ಸಮೀಪ ಬಂದು ಯುಗಳದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಅದಕ್ಕೆ ಆಹುತಿಯಾಗಿ ಮತ್ತೊಂದು ಅದರಿಂದ ತಪ್ಪಿಸಿಕೊಂಡು ಓಡಿ ಪಲಾಯನಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಒಂದು ಕಾಲದಲ್ಲಿ ದೈತ್ಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಾಗಿದ್ದ ಕೆಲವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಕಪ್ಪುರಂದ್ರವಾಗಿ ಅವೇ ಓಡಲು ಪ್ರಾರಂಭಿಸುತ್ತವೆ. ಹೀಗೆ ತಾರಾ ವಲಯದಲ್ಲಿ ಅನೇಕ ಘಟನೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಪಲಾಯನವಾಗಿ ಓಡುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಸಂಭವಿಸುತ್ತವೆ. ಓಡಿ ಪಲಾಯನಗೊಳ್ಳುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಬಗ್ಗೆ ಕೆಲವು ನಿದರ್ಶನಗಳ ಮೂಲಕ ಈ ಕೆಳಗೆ ಕೊಡಲಾಗಿದೆ.

- ರೇಡಿಯೋ ದೂರದರ್ಶಕದ ವೀಕ್ಷಣೆಯಿಂದ ಈ ಪಲಾಯನಗೈಯುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಮೂಲಾನ್ವೇಷಣೆ ಮಾಡಿದಾಗ 1961ರಲ್ಲಿ ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿ ಬ್ಲಾವ್ (Blaauw) ಸಂಶೋಧನೆಯಂತೆ ಎಇ ಆರಿಗ್ಯೂ (*AE Aurigae*) ಮತ್ತು ಎಂ ಕೊಲಮ್‌ಬೆ (*Mu Columbae*) ಮತ್ತು ಒರಿಯನ್ ಬೈನರಿಗಳ ಕಕ್ಷೆಗಳು ಒಂದನ್ನೊಂದು ಭೇದಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿರುವುದನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದ್ದರು. ಇದರಿಂದ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಒಂದನ್ನೊಂದು ಪ್ರತಿಭಟಿಸಿದಾಗ ಕೆಲವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ವೇಗವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ತಮ್ಮ ಕಕ್ಷೆಯಿಂದ ಹೊರಬಂದು ಪಲಾಯನಗೈಯುತ್ತವೆಯೆಂದು ತಿಳಿದುಬಂದಿದೆ. 2005ರಲ್ಲಿ ಸಾಮಾನ್ಯ ತಾರೆಯ ಎರಡರಷ್ಟು ವೇಗದ ಅಂದರೆ 500 ಕಿ.ಮೀ./ಸೆಕೆಂಡ್ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವ ತಾರೆಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಯಿತು. ಇದುವರೆಗೆ 30 ವೇಗದ ತಾರೆಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಗಿದೆ.
- ಪಲಾಯನಗೈಯುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಒ ಅಥವಾ ಬಿ ಗುಂಪಿನ ಪ್ರಾಯದ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಸೀಟ ಪಪ್ಪಿಸ್ (*Zeta Puppis*) ಎಂದು ಕರೆಯುವ  $O_5$  ನಕ್ಷತ್ರಗಳು, ಮ್ಯೂ ಕೊಲೊಂಬಿ (*Mu Columbae*) ಮುಂತಾದ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಉಷ್ಣಾಂಶ 42 ಸಾವಿರ ಕೆಲ್ವಿನ್ ಇದ್ದು

ಸೂರ್ಯನಿಗಿಂತ ಅತೀವ ಪ್ರಕಾಶಮಾನವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಬಗೆಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಯುಗಳ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ ಘರ್ಷಣೆ ಸಂಭವಿಸಿದರೆ ಆ ಯುಗಳಗಳು ಬೇರೆ ಬೇರೆಯಾಗಿ ಪಲಾಯನಗೈದು ಓಡಿಹೋಗಬಹುದೆಂಬ ಪ್ರಸ್ತಾವನೆಯನ್ನು ಡಚ್ ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿಯಾದ ಅಡ್ರಿಯನ್ ಬ್ಲಾವು ((Adriaan Blaauw) ಮೊದಲು ಸಲ್ಲಿಸಿದರು.

- ದೈತ್ಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಘರ್ಷಣೆಗೊಳಗಾಗಿ ಪಲಾಯನಗೈಯುವಿಕೆ: ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ದೂರದರ್ಶಕವು ತೆಗೆದ ಚಿತ್ರಣವು ತಿಳಿಸುವಂತೆ ಭೂಮಿಗೆ ದಕ್ಷಿಣ ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಿ 161000 ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷ ದೂರದಲ್ಲಿ ದೊಡ್ಡ ಮ್ಯಾಗ್ಲನಿಕ್ ಕ್ಲೌಡ್‌ನಲ್ಲಿರುವ ತರಂತುಲಾ ನೆಬುಲಾ (Tarantula Nebula)ವು ನಮ್ಮ ಕ್ಷೀರಪಥ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿದೆ. ಇದನ್ನು 30ಡಿ ಡೊರಾಡಸ್ (30D Doradus) ಎಂದೂ ಕರೆಯುವರು. ಇದರಲ್ಲಿರುವ R136 ನಕ್ಷತ್ರಪುಂಜದಲ್ಲಿ ಅನೇಕ ಯುವ ದೈತ್ಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಹುಟ್ಟುವ ತಾಣವಾಗಿದೆ. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಅನೇಕ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಪಲಾಯನಗೈದು ಓಡುತ್ತಿವೆ. ಹೇಗೆಂದರೆ ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರವು ಅದರೊಡನೆ ಉದಯಿಸಿದ ಇತರ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯಿಂದ ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಅದನ್ನು ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಿಂದ ಹೊರಹಾಕುವವರೆಗೆ ಎಸೆಯಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ನಾಸಾ ಹೇಳುವಂತೆ, ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್‌ದೂರದರ್ಶಕದಲ್ಲಿರುವ



ಚಿತ್ರ 1 ತರಂತುಲಾ ನೆಬುಲಾದಲ್ಲಿ ಓಡುತ್ತಿರುವ ಯುವ ದೈತ್ಯನಕ್ಷತ್ರ

ಅವಗೆಂಪು ಕ್ಯಾಮರಾವು ಕಾಸ್ಮಿಕ್ ಧೂಳಿನಲ್ಲಿ ಮುಸುಕಿದ ಅನೇಕ ಯುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸುವಲ್ಲಿ ಸಹಕಾರಿಯಾಗಿವೆ. ಹೀಗೆ ದೈತ್ಯ ಯುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಾಗಿದ್ದು ಅವುಗಳೊಡನೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ನಕ್ಷತ್ರ ಅಥವಾ ಕಪ್ಪುರಂಧ್ರಗಳಿರದಿದ್ದರೆ ಅವು ಸೂಪರ್‌ನೋವಾದಿಂದ ಹೊರಹಾಕಲ್ಪಡದೆ ಅದರ ಗುಂಪಿನಲ್ಲೇ ಪರಸ್ಪರ ಕ್ರಿಯೆ ನಡೆದು ಕೆಲವು ಪಲಾಯನಗೈದು ಓಡುತ್ತವೆ (ಚಿತ್ರ 1).

ರಂಧ್ರವು ಈ ಹಿಂದೆ ಒಂದು ಕಾಲದಲ್ಲಿ ದೊಡ್ಡ ನಕ್ಷತ್ರವಾಗಿ ಪ್ರಕಾಶಿಸುತ್ತಿತ್ತು. ಈ ಕಪ್ಪುರಂಧ್ರವೇ ಕೆಲವು ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯಿಂದ ಓಡಿ ಪಲಾಯನಗೈಯುವುದನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಲಾಗಿದೆ. 20 ಲಕ್ಷ ಸೂರ್ಯರನ್ನು ತೂಗುವ ಕಪ್ಪುರಂಧ್ರವು 2 ಲಕ್ಷ ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷ ದೂರ ಪಲಾಯನಗೈದು ಓಡಿಹೋಗಿರುವುದನ್ನು ಹಬಲ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ



ಚಿತ್ರ 2 ಕಪ್ಪುರಂಧ್ರವೇ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯಿಂದ ಓಡಿ ಪಲಾಯನಗೈಯುವ ಚಿತ್ರಣ

- ಕಪ್ಪುರಂಧ್ರವೇ ಪಲಾಯನಗೈಯುವಿಕೆ: ಕಪ್ಪುರಂಧ್ರವು ಈ ಹಿಂದೆ ಒಂದು ಕಾಲದಲ್ಲಿ ದೊಡ್ಡ ನಕ್ಷತ್ರವಾಗಿ ಪ್ರಕಾಶಿಸುತ್ತಿತ್ತು. ಈ ಕಪ್ಪುರಂಧ್ರವೇ ಕೆಲವು ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯಿಂದ ಓಡಿ ಪಲಾಯನಗೈಯುವುದನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಲಾಗಿದೆ. 20 ಲಕ್ಷ ಸೂರ್ಯರನ್ನು ತೂಗುವ ಕಪ್ಪುರಂಧ್ರವು 2 ಲಕ್ಷ ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷ ದೂರ ಪಲಾಯನಗೈದು ಓಡಿಹೋಗಿರುವುದನ್ನು ಹಬಲ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕವು ಸೆರೆಹಿಡಿದಿದೆ. ಇದರ ವೇಗ ಎಷ್ಟಿತ್ತೆಂದರೆ ಅದು ಭೂಮಿಯಿಂದ ಚಂದ್ರನ್ನು ಮುಟ್ಟಲು ಅದಕ್ಕೆ 14 ನಿಮಿಷಗಳು ಸಾಕು. ಹೀಗೆ ನಮ್ಮ ಕ್ಷೀರಪಥ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯ ಎರಡರಷ್ಟು ದೂರ ಓಡುವಾಗ ದಾರಿಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳನ್ನು ನುಂಗಲು ಅವಕಾಶವೇ ಇಲ್ಲದೆ ಅನೇಕ ಹೊಸ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ರೂಪುಗೊಳ್ಳಲು ಅನುವು ಮಾಡಿಕೊಟ್ಟಿದೆ (ಚಿತ್ರ 2).

**ಕಪ್ಪುರಂದ್ರದಿಂದ ಪಾರಾಗಿ ಪಲಾಯನಗೊಳ್ಳುವಿಕೆ:** ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಎಷ್ಟು ವೇಗವಾಗಿ ಪಲಾಯನ ಮಾಡುತ್ತವೆಯೆಂದರೆ ಪೂರ್ತಿ ಮಿಲಿವೇ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯೂ ಅದನ್ನು ನಿಲ್ಲಿಸಲಾಗುವುದಿಲ್ಲ. 1988ರ ನಿಲುವಿನಂತೆ ಎರಡು ಯುಗಳ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಒಂದನ್ನೊಂದು ಸುತ್ತುತ್ತಿದ್ದು ಅವು ಒಂದು ಕಪ್ಪುರಂದ್ರದ ಬಳಿ ಬಂದಾಗ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರವು ಕಪ್ಪುರಂದ್ರದ ಕಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿ ಕೊನೆಗೊಂಡರೆ, ಮತ್ತೊಂದು ಜೋಲಿಯಂತೆ ಹೊರಹಾಕಲ್ಪಟ್ಟು ಓಡಿ ಪಲಾಯನಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಇಂತಹ ಒಂದು ಓಡುವ ನಕ್ಷತ್ರವನ್ನು ಹಾರ್ವರ್ಡ್‌ನ ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿ ಪ್ರೊ. ವಾರನ್ ಬ್ರೌನ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದಿದ್ದಾರೆ.

180,000 ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷ ದೂರದಲ್ಲಿರುವ ಹೈಡ್ರಾ ನಕ್ಷತ್ರಮಂಜದ ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರವು ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ 700 ಕಿ.ಮೀ. ವೇಗದಲ್ಲಿ (ಭೂಮಿಯ 25 ಪಟ್ಟು ಕಕ್ಷಾ ವೇಗ) ಪಲಾಯನ ಮಾಡುತ್ತಿರುವುದನ್ನು ಅರಿಸೋನ ಎಂ.ಎಂ.ಟಿ ವೀಕ್ಷಣಾಲಯದಲ್ಲಿ ವೀಕ್ಷಿಸಿದ್ದಾರೆ. ಈ ನಕ್ಷತ್ರವು ಯುಗಳದಲ್ಲಿ ಒಂದಾಗಿದ್ದು, 80 ದಶಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆ ಒಂದು ಕಪ್ಪುರಂದ್ರದ ಸಮೀಪದಿಂದ ಹೊರಹಾಕಲ್ಪಟ್ಟಿದೆಯೆಂದು ದಾಖಲಿಸಿದ್ದಾರೆ.

**S5 – HVS1:** 2019ರಲ್ಲಿ ಕಾರ್ನಗಿ ಮೆಲನ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕರಾದ ಪ್ರೊ. ಸರ್ಜಿ ಕೊಪೊಸೊವ್ (*Sergy Koposov*) ಎಂಬ ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕಂಡುಹಿಡಿದ **S5 – HVS1** ಎಂಬ ಉಷ್ಣತೆಯಿಂದ ಕೂಡಿದ ಎ ಟೈಪ್ ಓಡುವ ನಕ್ಷತ್ರವಾಗಿದೆ. ಇದು 1755 ಕಿ.ಮೀ./ಸೆಕೆಂಡ್ ವೇಗದಲ್ಲಿ ದಕ್ಷಿಣ ಆಗಸದಲ್ಲಿ ಓಡುತ್ತಿರುವುದನ್ನು ಗಿಯಾ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕವು ಚಿತ್ರಣವನ್ನು ಸೆರೆಹಿಡಿದಿದೆ. ಭೂವಲಯದಿಂದ 29000 ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷ ದೂರದಲ್ಲಿರುವ ಈ ನಕ್ಷತ್ರದ ನಂಬಲಸಾಧ್ಯವಾದ ಪ್ರಯಾಣವು ಕ್ಷೀರಪಥ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯ ಮಧ್ಯದ ಪ್ರದೇಶದಿಂದ ಪ್ರಾರಂಭವಾಗಿ ಸುಮಾರು 5 ದಶಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳಿಂದಲೂ ಓಡುತ್ತಿದ್ದು, ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಿನ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಈ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯನ್ನು ಪಲಾಯನ ಮಾಡುವ ಎಲ್ಲಾ ಸೂಚನೆಗಳು ಕಂಡುಬರುತ್ತವೆಯೆಂದು ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಯಿಂದ ತಿಳಿದುಬರುತ್ತದೆ.

ಈ **S5 – HVS1** ನಕ್ಷತ್ರಕ್ಕೆ ಈ ಹೈಪರ್ ವೇಗವು ಹೇಗೆ ಬಂದಿದೆಯೆಂಬ ಹಿನ್ನೆಲೆಯನ್ನು ಹುಡುಕಿದಾಗ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ದೊರೆತ ಮಾಹಿತಿಯ ಪ್ರಕಾರ ಇದು ಕ್ಷೀರಪಥ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿ ಮತ್ತೊಂದು ಯುಗಳ ತಾರೆಯೊಡನೆ ಸಂಚರಿಸುತ್ತಿರುವಾಗ 4 ದಶಲಕ್ಷ ಸೂರ್ಯರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಕಪ್ಪುರಂದ್ರವಾದ ‘ಸಗಟೇರಿಯಸ್ ಎ’ (*Sagittarius A*) ಸಮೀಪ ಬಂದಾಗ ಅದರಿಂದ ತನ್ನ ಸಹತಾರೆಯು ಭಕ್ಷಿಸಲ್ಪಟ್ಟು, ಈ **S5 – HVS1** ತಾರೆಯು ಕವಣೆಯಂತ್ರದಂತೆ ಹೊರಮುಖನಾಗಿ ಎಸೆಯಲ್ಪಟ್ಟು ಹೈಪರ್ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಓಡಲು ಪ್ರಾರಂಭಿಸಿತು. ಇದನ್ನು ಹಿಲ್ಸ್ ಮೆಕ್ಯಾನಿಸಂ ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಈ ನಕ್ಷತ್ರವು ಹೀಗೆ ಓಡಿ ಪಲಾಯನಗೈಯುತ್ತಿರುವಾಗಲೇ ಕ್ರಮೇಣ ಕೆಂಪುದೈತ್ಯವಾಗಿ ತನ್ನೆಲ್ಲಾ ಅನಿಲವನ್ನು ಹೊರಹಾಕಿ ನಂತರ ಕಡೆಯಲ್ಲಿ ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜವಾಗಿ ವಿಶ್ರಾಂತಿಪಡೆಯುವ ಭವಿಷ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ.

**ಪಕ್ಕದ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯಿಂದ ಭೇಟಿಕೊಡುವ ಪಲಾಯನವಾದಿ ತಾರೆಗಳು:** ಕೆಲವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಬೇರೆ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯಿಂದ ನಮ್ಮ ಮಿಲಿವೇ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಗೆ ಓಡುತ್ತಾ ಬಂದು ಭೇಟಿಕೊಟ್ಟು ಹೋಗುವ ತಾರೆಗಳನ್ನು ಗಿಯಾ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಉಪಗ್ರಹವು ಸಮೀಕ್ಷೆ ಮಾಡಿದೆ. ಅದರ ಪ್ರಕಾರ ನಮ್ಮ ಕ್ಷೀರಪಥ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯ ಸುತ್ತ 163000 ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷ ದೂರದಲ್ಲಿ ಇರುವ ಲಾರ್ಜ್ ಮ್ಯಾಗ್ಲನಿಕ್ ಕ್ಲೌಡ್ (*L M C*)ನಲ್ಲಿ ಸಂಚರಿಸುತ್ತಿರುವ ಕುಬ್ಜ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಗಳು ನಮ್ಮ ಕ್ಷೀರಪಥ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯನ್ನು ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ 400 ಕಿ.ಮೀ. ವೇಗದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿವೆ. ಈ ವೇಗದ ಕುಬ್ಜ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಗಳಲ್ಲಿರುವ ಕೆಲವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಮತ್ತು

ಕಪ್ಪುರಂದ್ರಗಳು ಓಡುತ್ತಿರುವ ರೈಲಿನಿಂದ ಹೊಡೆದ ಬುಲೆಟ್‌ನಂತೆ ಕ್ಷೀರಪಥ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಗೆ ಹಾರಿ ವಲಸೆ ಬಂದು ಓಡಿ ಪಲಾಯನಮಾಡುತ್ತಿವೆ.

### ಹೈಪರ್ ವೇಗದ ಓಡುತ್ತಿರುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಉದಯ

2023 ರಲ್ಲಿ ಹಾರ್ವರ್ಡ್ ಸ್ಮಿತ್ಸೋನಿಯನ್ ಸೆಂಟರ್ ಫಾರ್ ಅಸ್ಟ್ರೋಫಿಸಿಕ್ಸ್‌ನ ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿಯಾದ ಪ್ರೊ. ಕರೀಮ್ ಎಲ್-ಬದ್ರಿ ಮತ್ತು ಅವರ ತಂಡದ ಅನ್ವೇಷಣೆಯಂತೆ, ನಮ್ಮ ಕ್ಷೀರಪಥ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯಿಂದ 4 ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಹೈಪರ್ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಪಲಾಯನಗೈದು ಓಡುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳನ್ನು ಅನ್ವೇಷಣೆ ಮಾಡಿದ್ದಾರೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಜೆ1235 ನಕ್ಷತ್ರವು ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ 1694 ಕಿ.ಮೀ. ವೇಗವನ್ನು ಮತ್ತು ಜೆ0927 ನಕ್ಷತ್ರವು ಅದಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚು 2285 ಕಿ.ಮೀ./ಸೆಕೆಂಡ್ ವೇಗದಿಂದ ಓಡುತ್ತಿದ್ದು, ಕ್ಷೀರಪಥ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯ ವಿಮೋಚನಾ ವೇಗ (*escape velocity*)ಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚು ವೇಗವನ್ನು ಪಡೆದಿವೆ.

ಈ ಹೈಪರ್ ವೇಗವನ್ನು ಪಡೆಯುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಉದಯವು ಕೆಳಗಿನಂತೆ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಟೈಪ್ 1ಎ ಸೂಪರ್‌ನೋವ್-‘ಸ್ಕಾಂಡರ್ಡ್ ಕ್ಯಾಂಡಲ್’ ಆಗಿ ವಿಶ್ವವನ್ನು ಅಳೆಯುವ ಮಾನದಂಡವಾಗಿದೆ. ನಕ್ಷತ್ರವು ತನ್ನ ಒಡನಾಡಿಯಾದ ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜದೊಡನೆ ಸುತ್ತುವಾಗ ಅವು ನಿರ್ಣಾಯಕ ರಾಶಿ (*critical mass*)ಯನ್ನು ತಲುಪಿ ಅವುಗಳ ಪ್ರಕಾಶತೆಯು ಉತ್ತುಂಗವನ್ನು ತಲುಪುತ್ತವೆ. ಆಗ ಸೂಪರ್‌ನೋವ್ ಸ್ಫೋಟವನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು. ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಮಿತಿಯು ಚಂದ್ರಶೇಖರ್ ಮಿತಿಯಾದ ಸೂರ್ಯನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ 1.4 ಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದಲ್ಲಿ ಅವು ಅಸ್ಥಿರವಾಗಿ ಟೈಪ್ 1ಎ ಸೂಪರ್‌ನೋವ್ ಆಗಿ ಸಿಡಿಯುತ್ತವೆ.

ಕುಸಿಯುತ್ತಿರುವ ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜವು ತನ್ನ ಯುಗಳ ಒಡನಾಡಿಯ ಸುತ್ತ ಸುತ್ತುವಾಗ ಅದರಿಂದ ಹೊರಹಾಕಿದ ದ್ರವ್ಯವನ್ನು ನುಂಗಿ ಸಾಗುತ್ತದೆ. ಆ ದ್ರವ್ಯವು ಹೀಲಿಯಂ ಆಗಿದ್ದಲ್ಲಿ ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯು ಪರಮಾಣು ಸ್ಫೋಟವನ್ನುಂಟುಮಾಡಿ ಹೊಸ ಓಡುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳನ್ನುಂಟು ಮಾಡುವ ಸಾಧ್ಯತೆ ಹೆಚ್ಚು. ಈ ಸ್ಫೋಟದ ಆಘಾತಕಾರಿ ತರಂಗದಿಂದ ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜದಲ್ಲಿ ಮತ್ತೊಂದು ಅವನತಿಹೊಂದುವ ಎರಡನೇ ಸ್ಫೋಟವುಂಟಾಗಿ ಉಂಟಾದ ನಕ್ಷತ್ರವನ್ನು ತಳ್ಳುವುದರಿಂದ ಅದು ಮತ್ತಷ್ಟು ಆವೇಗವನ್ನು ಪಡೆದು ಓಡಿ ಪಲಾಯನಗೈಯುತ್ತದೆ.

ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿ ಗಿಲ್ಸ್ ಫೆರಾಂಡ್ (*Gilles Ferrand*) ತಂಡದವರ ಸಂಶೋಧನೆಯಂತೆ ಹೈಪರ್ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಓಡುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಹೆಚ್ಚಿನ ಸ್ಫೋಟದ ಬಲವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ D6 ಸೂಪರ್‌ನೋವ್‌ಗಳಿಂದ ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆಯೆಂಬುದು ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಯಲ್ಲಿದೆ. ಅದನ್ನು ‘ಡೈನಮಿಕಲಿ ಡ್ರೈವನ್ ಡಬಲ್-ಡಿಜನರೇಟ್ ಡಬಲ್-ಡಿಟೋನೇಷನ್’ D6 ವಿದ್ಯಮಾನವೆಂದು ಹೆಸರು. ಇದಕ್ಕೆ ಉದಾಹರಣೆಯಾಗಿ ಒಂದು ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜವು ತನ್ನ ಯುಗಳವಾದ ಮತ್ತೊಂದು ನಕ್ಷತ್ರದೊಡನೆ ಸುತ್ತುತ್ತಿದ್ದರೆ ಕ್ರಮೇಣ ತನ್ನ ಅಗಾಧ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯಿಂದ ಕುಸಿತವನ್ನು ಕಂಡು, ಸಮೀಪದ ಯುಗಳ ನಕ್ಷತ್ರದಿಂದಲೂ ದ್ರವ್ಯವನ್ನು ಹೊರಹಾಕುವಂತೆ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಅದು ಹೀಲಿಯಂ ಆಗಿದ್ದಲ್ಲಿ ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜದಲ್ಲಿ ಧರ್ಮೋನ್ಯೂಕ್ಲಿಯರ್ ಸ್ಫೋಟವುಂಟಾಗಿ ಪಲಾಯನ ಮಾಡುವ D6 ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಉದಯಿಸಲು ಕಾರಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಲಿಯಂ ಸ್ಫೋಟದಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾದ ಶಾಕ್‌ವೇವ್ ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜದ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿ ಮತ್ತೊಂದು ಸ್ಫೋಟವೇರ್ಪಡುವಂತೆ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಈ ಡಬಲ್-ಡಿಜನರೇಟ್ ಡಬಲ್-ಡಿಟೋನೇಷನ್‌ನಿಂದ ಓಡಿ



ಪಲಾಯನಮಾಡುವ D6 ನಕ್ಷತ್ರವು ಹೈಪರ್ ವೇಗವನ್ನು ಪಡೆಯುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು ಯೂರೋಪಿಯನ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ವೀಕ್ಷಣಾಲಯವಾದ ಗೈಯಾ ((GAIA) ಗುರುತಿಸಿದೆಯೆಂದು ವರದಿಯಾಗಿದೆ.

**ಪಲಾಯನಗೈಯುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಿಂದ ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಾಗುವ ಪರಿಣಾಮ**

ಯುಗಳ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಅಥವಾ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಗುಂಪಿನಿಂದ ಬೇರೆಯಾಗಿ ಓಡುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಅಂತರ ತಾರಾ ವಲಯದಲ್ಲಿ ಬಿಲ್ಲಿನಂತೆ ಘರ್ಷಣೆ(bow shocks)ಯನ್ನುಂಟುಮಾಡುವುದರಿಂದ ಗಾಮಾ ಕಿರಣಗಳು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತವೆ.

ಹೆಚ್ಚಿನ ಉಷ್ಣತೆಯಿಂದ ಕೂಡಿದ ಅನೇಕ ಓಡುವ ದೈತ್ಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಗಳ ಹೊರಹರಿವನ್ನು ಹೆಚ್ಚು ಮಾಡುವುದರಲ್ಲಿ ಸಹಕಾರಿಯಾಗಿವೆ. ಹೆಚ್ಚು ಶಾಖದಿಂದ ಕೂಡಿದ ಈ ದೈತ್ಯಗಳು ಕಡಿಮೆ ಸಾಂದ್ರತೆಯುಳ್ಳ ಅಂತರತಾರಾ ವಲಯದಲ್ಲಿ ನೂರಾರು ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷ ಸಂಚರಿಸುವಾಗ ದ್ರವ್ಯಶಕ್ತಿ, ಆವೇಗವನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಿ ಶೇಖರಣೆ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಇವು ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯ ಅಂಚಿನವರೆಗೂ ಸಂಚರಿಸುವಾಗ ದ್ರವ್ಯಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ಹೊರಹಾಕುವುದರಿಂದ ದೀರ್ಘಾವಧಿಯಲ್ಲಿ ಹೊಸ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಉದಯವಾಗಲು ಸಹಕಾರಿಯಾಗುವುದು ಎಂದು ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಯಿಂದ ತಿಳಿದುಬಂದಿದೆ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಈ ಪಲಾಯನ ಮಾಡುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಗಳಲ್ಲಿ ತಾರೆಗಳ ಉದಯವಾಗಲು ಅವುಗಳ ಜೊತೆ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿಯೇ ಗ್ರಹಗಳೊಂದಿಗೆ ತಾರಾಮಂಡಲವು ರೂಪುಗೊಳ್ಳಲು ಸಹಕಾರಿಯಾಗಿ ಅಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಾಶತೆಯನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುತ್ತಿವೆ.

ಸಂಗ್ರಹ: ಅಂತರ್ಜಾಲ

## ನಿಹಾರಿಕಾ

ನಗುಮೊಗದ ನಿಹಾರಿಕಾ  
ನೀ ನಭದಲಿ ಸುಂದರಿಯೆಂದು  
ನಾ ನಿನ್ನ ಬಲ್ಲೆ ||  
ತಾರೆಗಳ ಮೇಲಿನ ತೆರೆಯಂತೆ ನೀನು  
ಅಂತರ ತಾರಾ ಮೇಘ ನೀನು  
ತಾರಾ ಲೋಕ ನೀನು ||  
ಯವನರು ಕರೆವರು ನೆಬುಲಾ ಎಂದು  
ತಾರೆಯರುದಿಪರು ನಿನ್ನಲಿ ಸಂದು  
ನೀನವಕೆ ತೊಟ್ಟಲು ಎಂದೆಂದು ||  
ಅನಿಲವ ತುಂಬಿ ಬುಸುಗುಟ್ಟುವೆ ಬಿಸಿಯಲಿ  
ಗುರುತ್ವ ತುಂಬಿದ ಘನತೆಯಲಿ  
ಚದುರುವೆ ಅಲ್ಲೇ ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡದಲಿ ||  
ಕಾಣುವೆ ನೀ ನಿಶೆಯಲಿ ದುರ್ಬೀನಿಂದ  
ನೀ ಕಾಮನ ಬಿಲ್ಲಿನ ಬಣ್ಣದ ಕಿನ್ನರಿ

ಅವೆಲ್ಲ ಅನಿಲದ ಛಾಯೆಯಿಂದ ||  
ಕೃಷ್ಣನಿಹಾರಿಕೆಯರಿಹರು ಅನೇಕ  
ಅಶ್ವಶಿರಾ ಭೂಷಿ ಇನ್ನೊಂದು  
ಮಹಾವ್ಯಾಧ ರೂಪಿ ಮತ್ತೊಂದು ||  
ಸುಳಿಗುಂಡಿ ನಟಿ ಕರೀನ ಮತ್ತೀರ್ವರು  
ಕೀಲಿರಂದ್ರ ಅವರಲ್ಲಿರುವುದು  
ಕ್ಷೀರಪಥದಲ್ಲಿಹರು ಅವರೆಲ್ಲ ||  
ಮತ್ಸ್ಯಮುಖಿ ಇಹಳೆಂದು ಹೈಗನ್ಸ್ ಹೇಳಿದ  
ಚಂದದ ಪಚ್ಚಿವರ್ಣ ಮೊಗದವಳಿಂದ  
ಹರ್ಷಿಲ್ ಅನ್ವೇಷಣೆ ಹೃದಯ ನಿಹಾರಿಕ ||  
ನಿನ್ನಲಿ ಅಂದದ ಕೃಷ್ಣರಂದ್ರೆಯಡಗಿಹಳು  
ಒಮ್ಮೆ ಅವಳೆಂದಳು  
ನಾ ಬೆಳಕ ನುಂಗುವೆ ನೀನನಿಲ ಹೊರಸೂಸುವೆ ||



## ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕ- ಕಂಡೀತೇ ಜಗದ ಜಾತಕ?

ಡಾ. ಟಿ. ಶಿವಲಿಂಗಸ್ವಾಮಿ, ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕರು, ಸ್ನಾತಕೋತ್ತರ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರ ವಿಭಾಗ, ಮಹಾರಾಣಿ ಮಹಿಳಾ ವಿಜ್ಞಾನ ಕಾಲೇಜು

ಡಾ. ಬಿ.ಎ. ಕಾಗಲಿ, ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕರು(ನಿ), ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ

ಈ ವಿಶ್ವ ಕಲ್ಪನಾತೀತವಾದದ್ದು, ಇದರ ಸೃಷ್ಟಿ ರಹಸ್ಯವನ್ನು ಭೇದಿಸಲು ಮಾನವ ಅವಿರತವಾಗಿ ಶ್ರಮಿಸುತ್ತಿದ್ದಾನೆ. ತನ್ನೆಲ್ಲ ಬುದ್ಧಿಮತ್ತೆಯನ್ನು ಬಳಸಿ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸಿಕೊಂಡು ವಿಶ್ವದ ಇಂಚಿಂಚನ್ನೂ ನೋಡಲು ಹವಹರಿಸಿದ್ದಾನೆ. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಭೂಮಿಯ ಮೇಲೆ ಬೃಹತ್ ದೂರದರ್ಶಕಗಳನ್ನು ಪ್ರತಿಷ್ಠಾಪಿಸಿದ್ದಾನೆ. ನಭೋಮಂಡಲಕ್ಕೆ ಉಪಗ್ರಹಗಳನ್ನೂ ಹಾಗೂ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕಗಳನ್ನೂ ಹಾರಿಬಿಟ್ಟು ಆಮೂಲಕ ಜಗತ್ತನ್ನು ನೋಡಲು ಪ್ರಯತ್ನಿಸಿದ್ದಾನೆ. ತಾನು ಗ್ರಹಿಸಿದ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಕ್ರೋಡೀಕರಿಸಿ, ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನು ರೂಪಿಸಿ, ಈ ವಿಶ್ವಕ್ಕೊಂದು ರೂಪು-ಶೇಷ ಕೊಡಲು ಪ್ರಯತ್ನಿಸಿದ್ದಾನೆ. ಆಗಿಂದಾಗ್ಗೆ ತನ್ನದೇ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನು ಮೂಲೆಗೆಸೆದು, ವಿಶ್ವಕ್ಕೆ ಹೊಸ ಅರ್ಥ ಕಲ್ಪಿಸಿ, ತನಗೇ ಸಮಾಧಾನ ಹೇಳಿಕೊಂಡಿದ್ದಾನೆ. ಇಷ್ಟೆಲ್ಲಾ ಪ್ರಯತ್ನಗಳಾದರೂ ಮಾನವನ ಕಲ್ಪನೆಗೆ ನಿಲುಕಿರುವ ಜಗತ್ತು ಶೇಕಡಾ 4 ರಷ್ಟು ಮಾತ್ರ. ಉಳಿದ ಶೇಕಡಾ 96ರಷ್ಟು ಅಗೋಚರ ದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ಅಗೋಚರ ಶಕ್ತಿ ಆತನಿಗೆ ಇನ್ನೂ ಪ್ರಶ್ನೆಯಾಗಿಯೇ ಉಳಿದಿದೆ. ಆದರೆ ವಿಶ್ವವನ್ನು ತಿಳಿದೇ ತೀರಬೇಕೆನ್ನುವ ಪ್ರಯತ್ನವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಆತ ಕೈಬಿಟ್ಟಿಲ್ಲ. ಈ ನಿಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರತೀಕ್ಷಣ ಜಗತ್ತಿನ ಮೂಲ ಮೂಲೆಗಳಿಂದ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನಗಳನ್ನು ಬಳಸಿ, ಸಾಧನಗಳನ್ನು ರೂಪಿಸಿ, ರಾಕೆಟ್ ಗಳನ್ನು ಉಡಾಯಿಸಿ, ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಿ ನಿಲ್ದಾಣಗಳನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿ, ಉಪಗ್ರಹಗಳು ಮತ್ತು ದೂರದರ್ಶಕಗಳ ಮೂಲಕ ಹೊಸತನ್ನು ನಿರೀಕ್ಷಿಸುತ್ತಾ ಎವೆಯಿಟ್ಟು ಕಾಯುತ್ತಿದ್ದಾನೆ.

ದೂರದರ್ಶಕಗಳು ಸೃಷ್ಟಿಯ ರಹಸ್ಯವನ್ನು ಅರಿಯಲು ಮಾನವ ಕಂಡುಕೊಂಡ ಪ್ರಮುಖ ಸಾಧನಗಳು

ಸರಿ ಸುಮಾರು ನಾಲ್ಕುನೂರು ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆ ಗೆಲಿಲಿಯೋ ಮೊದಲಬಾರಿಗೆ ತಾನೇ ತಯಾರಿಸಿದ ಸಣ್ಣ ದೂರದರ್ಶಕದ ಮೂಲಕ ಚಂದ್ರನ ಮೇಲಿರುವ ಕುಳಿಗಳು, ಗುರುಗ್ರಹದ ಉಪಗ್ರಹಗಳು ಮುಂತಾದವುಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ದೂರದರ್ಶಕಗಳ ಬಳಕೆಗೆ ನಾಂದಿ ಹಾಡಿದ. ಗೆಲಿಲಿಯೋನ ಈ ಸಾಧನೆಯಿಂದ ಕಾಲಾನಂತರ ಹೆಚ್ಚೆಚ್ಚು ವರ್ಧನೆಯ ಸಾಮರ್ಥ್ಯದ ದ್ಯುತಿ ದೂರದರ್ಶಕಗಳು ಅಭಿವೃದ್ಧಿಗೊಂಡವು. ಸರ್ ಐಸಾಕ್ ನ್ಯೂಟನ್ ದೂರದರ್ಶಕಗಳಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ಸಂಗ್ರಹಕ್ಕೆ ಮಸೂರಗಳ ಬದಲಾಗಿ ದರ್ಪಣಗಳನ್ನು ಬಳಸಿದ.

ಇಂದು ಪ್ರಪಂಚದ ಅನೇಕ ಭಾಗಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ವರ್ಣಪಟಲದ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಅಂಗದಲ್ಲೂ ವಿಕಿರಣವನ್ನು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಲು ಮತ್ತು ವಿಶ್ಲೇಷಿಸಲು ಸಮರ್ಥವಾದ ದೂರದರ್ಶಕಗಳು ರೂಪುಗೊಂಡಿವೆ. ವಿವಿಧ ರೀತಿಯ ಸಹಾಯಕ ಸಾಧನಗಳ ಆವಿಷ್ಕಾರದಿಂದ (ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಕ್ಯಾಮೆರಾ, ಸ್ಪೆಕ್ಟ್ರೋಗ್ರಾಫ್

ಮತ್ತು ಚಾರ್ಜ್ ಕಪಲ್ಡ್ ಸಾಧನ ಇತ್ಯಾದಿ) ಮತ್ತು ದೂರದರ್ಶಕ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್, ಕಂಪ್ಯೂಟರ್, ರಾಕೆಟ್ ಮತ್ತು ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನೌಕೆಗಳ ಬಳಕೆಯಿಂದ ದೂರದರ್ಶಕಗಳ ವೀಕ್ಷಣಾ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಇನ್ನಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ಬೆಳವಣಿಗೆಗಳು ಸೌರಮಂಡಲ, ಕ್ಷೀರಪಥ ಗೆಲಾಕ್ಸಿ, ನಿಹಾರಿಕೆಗಳು ಮುಂತಾದವುಗಳನ್ನು ಅರಿಯಲು ಸಹಾಯ ಮಾಡಿವೆ ಹಾಗೂ ಒಟ್ಟಾರೆಯಾಗಿ ವಿಶ್ವದ ಬಗೆಗಿನ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಗತಿಗೆ ದೂರದರ್ಶಕಗಳು ಕಾರಣೀಭೂತವಾಗಿವೆ.

ದೂರದರ್ಶಕಗಳ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವು ಅವು ಬೆಳಕನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸುವ ಕಂಡಿಯ ವಿಸ್ತೀರ್ಣದ ಮೇಲೆ ಅವಲಂಬಿತವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಹಾಗಾಗಿ ಅತಿ ದೂರದ ಆಕಾಶಕಾಯಗಳ ಬಿಂಬವನ್ನು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ದಾಖಲಿಸಲು ದೊಡ್ಡ ಗಾತ್ರದ ದೂರದರ್ಶಕಗಳ ಅಗತ್ಯತೆಯಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಜೊತೆಗೆ ಬೆಳಕಿನ ಸಂಗ್ರಹಣಾ ಅನಾವೃತ್ತಿ ಕಾಲವೂ ಸಹ ಪ್ರಮುಖ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸುತ್ತದೆ.



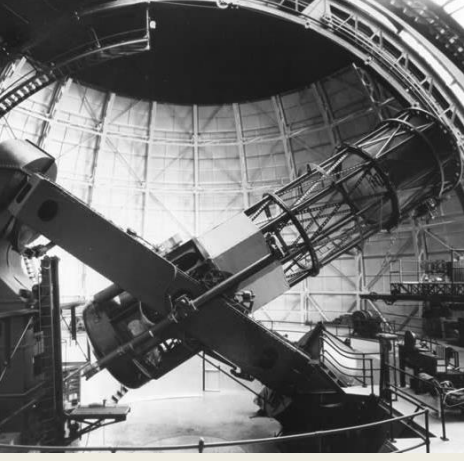
ಚಿತ್ರ-೧: ವಕ್ರೀಕರಣ ದೂರದರ್ಶಕ



ಚಿತ್ರ-೨: ಪ್ರತಿಫಲನ ದೂರದರ್ಶಕ

ಆಕಾಶಕಾಯಗಳ ವೀಕ್ಷಣೆಗೆ ಸೂಕ್ತ ಸ್ಥಳದ ಆಯ್ಕೆಯೂ ಮುಖ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಬೆಳಕಿನ ಮಾಲಿನ್ಯವಿಲ್ಲದ ವಾತಾವರಣದ, ಗಾಳಿಯ ಪ್ರಕ್ಷುಬ್ಧತೆಯಿಲ್ಲದ ಎತ್ತರದ ಪ್ರದೇಶಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಸೂಕ್ತ. ಭೂಮಿಯ ವಾತಾವರಣದಿಂದಾಚೆ ದೂರದರ್ಶಕಗಳನ್ನಿರಿಸಿ ಆಕಾಶಕಾಯಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾದರೆ ಅದರಿಂದ ದೂರದ ಕಾಯಗಳ ಹೆಚ್ಚಿನ ಗುಣಮಟ್ಟದ ಬಿಂಬಗಳನ್ನು ಪಡೆಯಲು ಸಾಧ್ಯ. ಹಾಗಾಗಿ ವಿಶ್ವದಾದ್ಯಂತ ದೊಡ್ಡ ದೊಡ್ಡ ದೂರದರ್ಶಕಗಳು ಸ್ಥಾಪಿತವಾದವು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ೧೯೧೭ ರಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿತವಾದ ೨.೫ ಮೀ ವ್ಯಾಸದ ಹೂಕರ್ ದೂರದರ್ಶಕ [Hooker Telescope], ೧೯೪೮ ರಲ್ಲಿ ಅಮೇರಿಕಾದಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿತವಾದ ೫.೧ ಮೀ ವ್ಯಾಸದ ಹೇಲ್ ದೂರದರ್ಶಕ [Hale Telescope], ಹವಾಯಿ ದ್ವೀಪದಲ್ಲಿ ೧೯೯೬ ರಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿತವಾದ ಕೆಕ್ ವೀಕ್ಷಣಾಲಯ, ಚಿಲಿ ದೇಶದ ಲಾಸಿಲ್ಲಾ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿತವಾಗಿರುವ ೨.೬, ೩.೬ ಮತ್ತು ೮.೨ ಮೀ ವ್ಯಾಸದ ವೀಕ್ಷಣಾಲಯಗಳು, ತಮಿಳುನಾಡಿನ ಕಾವಲೂರಿನಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿತವಾಗಿರುವ ೨.೩೪ ಮೀ ವ್ಯಾಸದ ವೈನು ಬಪ್ಪು ದೂರದರ್ಶಕ, ಹಾನ್ಲೆಯಲ್ಲಿ ೨೦೦೦ ನೇ ಇಸವಿಯಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿತವಾದ ಹಿಮಾಲಯನ್ ಚಂದ್ರ ದೂರದರ್ಶಕ, ನೈನಿತಾಲ್ ಬಳಿ

೨೦೧೬ ರಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿತವಾದ ೩.೬ಮೀ ವ್ಯಾಸದ ದೇವಸ್ಥಳ ದೂರದರ್ಶಕ, ಅಬು ಪರ್ವತದಲ್ಲಿ ೧೯೯೦ ರಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿಸಿರುವ ೧.೨ ಮೀ ವ್ಯಾಸದ ಗುರುಶಿಖರ ಅವಗಂಪು ದೂರದರ್ಶಕ ಪ್ರಮುಖವಾಗಿವೆ.



ಚಿತ್ರ-೩: ಹೂಕರ್ ದೂರದರ್ಶಕ



ಚಿತ್ರ-೪: ಹೇಲ್ ದೂರದರ್ಶಕ



ಚಿತ್ರ-೫: ವೈನು ಬಪ್ಪು ವೀಕ್ಷಣಾಲಯ



ಚಿತ್ರ-೬: ಹಿಮಾಲಯನ್ ಚಂದ್ರ ವೀಕ್ಷಣಾಲಯ

ಭೂಮಿಯ ವಾತಾವರಣದಿಂದಂಟಾಗುವ ಬೆಳಕಿನ ಚದುರುವಿಕೆಯ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಸರಿಪಡಿಸಿ ಸ್ಪಷ್ಟ ಬಿಂಬಗಳನ್ನು ಪಡೆಯಲು ಆಧುನಿಕ ದೂರದರ್ಶಕಗಳಲ್ಲಿ ಹೊಂದಾಣಿಕೆ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನಗಳನ್ನು [Adaptive Optics] ಅಳವಡಿಸಿಕೊಳ್ಳಲಾಗಿದೆ. ೧೯೯೦ ರಲ್ಲಿ ಅಮೇರಿಕಾದ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಸಂಸ್ಥೆ ನಾಸಾ, ೨.೪ ಮೀ ವ್ಯಾಸದ ದ್ಯುತಿ ದೂರದರ್ಶಕವಾದ ಹಬಲ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕವನ್ನು ಭೂಮಿಯಿಂದ ೩೬೮ ಮೈಲಿ ಎತ್ತರದ ಕಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿದೆ. ಇದು ಆಕಾಶಕಾಯಗಳ ಸಾಕಷ್ಟು ಸುಧಾರಿತ ಬಿಂಬಗಳನ್ನು ಇದುವರೆಗೂ ರವಾನಿಸಿದೆ. ಇದರ ಸ್ಪಷ್ಟ ಬಿಂಬಗಳಿಂದ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಅಧ್ಯಯನ ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ನಾಸಾ ಸಂಸ್ಥೆಯು ೨೦೦೩ ನೇ ಇಸವಿಯಲ್ಲಿ ಗೆಲಾಕ್ಸಿಗಳ ಅಧ್ಯಯನ ಹಾಗೂ ಬಾಹ್ಯಗ್ರಹಗಳ ಅಧ್ಯಯನವನ್ನು ಕೇಂದ್ರೀಕರಿಸಿ ೦.೮೫ ಮೀಟರ್ ವ್ಯಾಸದ ಅವಗಂಪು ದೂರದರ್ಶಕವಾದ ಸ್ಪಿಟ್ಜರ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕವನ್ನು ಸೂರ್ಯಕೇಂದ್ರಿತ ಭೂಕಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿ



ಇರಿಸಿತು. ಈ ದೂರದರ್ಶಕವು ೨೦೨೦ ರವರೆಗೆ ಕಾರ್ಯನಿರ್ವಹಿಸಿ, ಹಲವು ದೂರದ ಗೆಲಾಕ್ಸಿಗಳು, ಬಾಹ್ಯಗ್ರಹಗಳು ಹಾಗೂ ಶನಿಗ್ರಹದ ದೈತ್ಯ ಬೆಳೆಗಳ ಅಧ್ಯಯನಕ್ಕೆ ಸಹಕಾರಿಯಾಯಿತು.



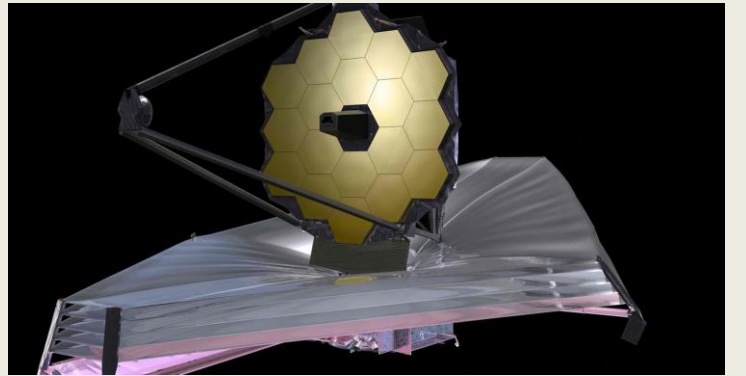
ಚಿತ್ರ-೭: ಹಬಲ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕ



ಚಿತ್ರ-೮: ಸ್ಪಿಟ್ಜರ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕ

### ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕ

ಅಮೇರಿಕಾದ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಸಂಸ್ಥೆ 'ನಾಸಾ', ಯುರೋಪಿಯನ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಸಂಸ್ಥೆ ಹಾಗೂ ಕೆನಡಾ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಒಕ್ಕೂಟ ಜಂಟಿಯಾಗಿ ಸತತವಾಗಿ ಸುಮಾರು ೨೦ ವರ್ಷಗಳ ಕಾರ್ಯ ಯೋಜನೆ ರೂಪಿಸಿ ಕಳೆದ ಕ್ರಿಸ್ಮಸ್ ದಿನದಂದು ೬.೬ ಮೀಟರ್ ವ್ಯಾಸದ, ಅತ್ಯಾಧುನಿಕ ಹಾಗೂ ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮಗ್ರಾಹಿ ಅವಗಂಪು ದೂರದರ್ಶಕ 'ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕ'ವನ್ನು ಭೂಮಿಯಿಂದ ೧೫ ದಶಲಕ್ಷ ಕಿಲೋಮೀಟರ್ ದೂರದ ಎಲ್-೨ ಲೆಗ್ರಾಂಜ್ ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿಸಲು ಉಡಾಯಿಸಿದವು. ಇದು ಜಗತ್ತಿನ ಅತ್ಯಂತ ದೊಡ್ಡ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಶಾಲಿ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕವಾಗಿದೆ. ಇದು ಹಬಲ್ ದೂರದರ್ಶಕಕ್ಕಿಂತ ನೂರು ಪಟ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದು, ಸುಮಾರು ಮೂವತ್ತು ವರ್ಷಗಳಿಗೂ ಹೆಚ್ಚಿನ ಹಳೆಯ ದೂರದರ್ಶಕ 'ಹಬಲ್ ದೂರದರ್ಶಕ'ದ ಉತ್ತರಾಧಿಕಾರಿಯೆಂದೇ ಪರಿಗಣಿಸಲಾಗಿದೆ. ಹತ್ತು ದಶಕೋಟಿ ಅಮೆರಿಕನ್ ಡಾಲರ್ ವೆಚ್ಚದಲ್ಲಿ ಈ ದೂರದರ್ಶಕವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗಿದೆ. ಸುಮಾರು ಹದಿನೈದರಿಂದ ಇಪ್ಪತ್ತು ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ ನಭೋಮಂಡಲದ ಅಧ್ಯಯನ ನಡೆಸಲಿದ್ದು, ಇದು ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡದ ಸೃಷ್ಟಿ, ಗೆಲಾಕ್ಸಿಗಳ ಸಮಾಗಮ ಮತ್ತು ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳ ಉಗಮ, ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಮತ್ತು ಗ್ರಹಗಳ ಉಗಮ ಹಾಗೂ ಬಾಹ್ಯ ಗ್ರಹಗಳು ಮತ್ತು ಜೀವದ ಅಸ್ತಿತ್ವದ ಬಗ್ಗೆ ಬೆಳಕು ಚೆಲ್ಲಲಿದೆ.

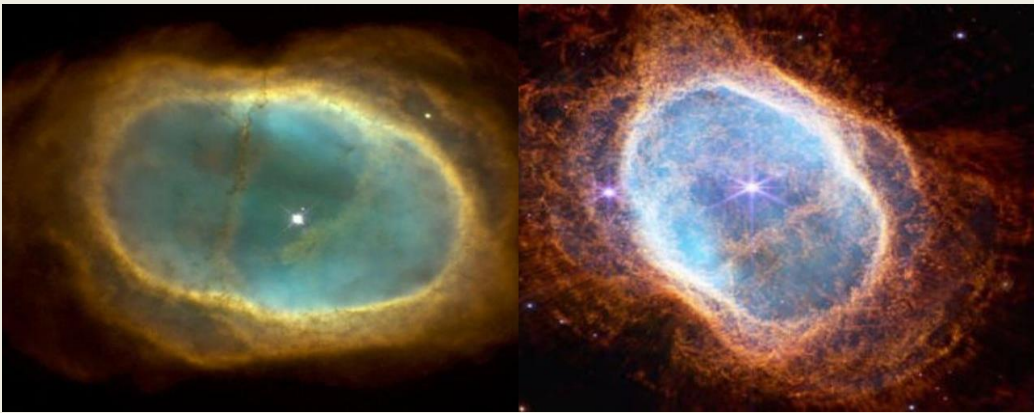


ಚಿತ್ರ-೯: ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕ



ತಲಾ ೧.೩೨ ಮೀಟರ್ ವ್ಯಾಸದ ಒಟ್ಟು ಹದಿನೆಂಟು ಚಿನ್ನ ಲೇಪಿತ ಬೇರಿಲಿಯಂ ಷಟ್ಕೋನ ದರ್ಪಣಗಳನ್ನು ಏರಿಯಾನ್ ರಾಕೆಟ್ ನ ಮೂತಿಯಲ್ಲಿ ಮಡಿಸಿಟ್ಟು ಡಿಸೆಂಬರ್ ೨೫, ೨೦೨೧ ರಂದು ಫ್ರೆಂಚ್ ಗಯಾನಾದ ಕುರುವಿನಿಂದ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶಕ್ಕೆ ಉಡಾಯಿಸಲಾಯಿತು. ಸರಿಸುಮಾರು ಒಂದು ತಿಂಗಳ ಪ್ರಯಾಣ ನಡೆಸಿದ ಏರಿಯಾನ್ ರಾಕೆಟ್ ಕಳೆದ ಜನವರಿ ೨೪ ರಂದು ಸೂರ್ಯ ಮತ್ತು ಭೂಮಿಯ ಗುರುತ್ವವು ಸಮಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವ ಎಲ್-೨ ಲೆಗ್ರಾಂಜ್ ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ನಂತರದಲ್ಲಿ ಸೂರ್ಯನೆಡೆಗೆ ಬೆನ್ನುಹಾಕಿ, ಬರೋಬ್ಬರಿ ಒಂದು ಟೆನ್ನಿಸ್ ಕೋರ್ಟ್ ವಿಸ್ತೀರ್ಣದ ಸನ್ನಿಲ್ದ ಗಳನ್ನು ನವಿಲಿನ ಗರಿಯಂತೆ ಬಿಚ್ಚಿ ತನಗೆ ತಾನೇ ತಂಪಾದ ನೆರಳಿನ ವ್ಯವಸ್ಥೆ ಸೃಷ್ಟಿಸಿಕೊಂಡು, ನಂತರದಲ್ಲಿ ಓರಿಗಾಮಿ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಮಡಿಸಲಾಗಿದ್ದ ದರ್ಪಣಗಳ ಗರಿಬಿಚ್ಚಿ ತನ್ನ ಕೆಲಸವನ್ನು ಪ್ರಾರಂಭಿಸಿದೆ. ೨೦೨೨ರ ಜುಲೈ ೧೧ರಂದು ಮೊದಲ ಬಾರಿಗೆ ತಾನು ಸೆರೆಹಿಡಿದ ಮೊದಲ ಚಿತ್ರಗಳನ್ನು ಭೂಮಿಗೆ ರವಾನಿಸಿದೆ. ಈ ಚಿತ್ರಗಳು ಜಗತ್ತಿನ ಎಲ್ಲಾ ಖಗೋಳ ವಿದ್ವಾಂಸರನ್ನು ಮೂಕವಿಸ್ಮಿತರನ್ನಾಗಿಸಿದೆ. ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ನಿರ್ಮಾಣ ಮತ್ತು ನಿರ್ವಹಣಾ ಕಾರ್ಯದಲ್ಲಿ ಮಗ್ನರಾಗಿದ್ದ ಇಪ್ಪತ್ತು ಸಾವಿರಕ್ಕೂ ಹೆಚ್ಚು ತಂತ್ರಜ್ಞಾನಿಗಳ ಮುಖದಲ್ಲಿ ಒಮ್ಮೆಲೇ ಮಂದಹಾಸ ಮೂಡಿಸಿದೆ. ಕಳೆದೊಂದು ತಿಂಗಳ ಪ್ರಾರಂಭದ ಸಾಧನೆಯೇ ಅಪ್ರತಿಮವಾಗಿದೆ.

ಭೂಮಿಯಿಂದ ಎರಡು ಸಾವಿರ ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷಗಳ ದೂರದಲ್ಲಿರುವ ದಕ್ಷಿಣದ ಉಂಗುರ ನಿಹಾರಿಕೆ [Southern Ring Nebula] ಚಿತ್ರವನ್ನೊಮ್ಮೆ ನೋಡಿ. ಹಬಲ್ ದೂರದರ್ಶಕ ತೆಗೆದ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ತೆಗೆದ ಚಿತ್ರದೊಂದಿಗೆ ನೀಡಲಾಗಿದೆ. ಇದೊಂದು ಗ್ರಹಾಂತಿಕ ನಿಹಾರಿಕೆಯಾಗಿದೆ. ಹಬಲ್ ದೂರದರ್ಶಕ ಅತಿನೇರಳೆ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಗ್ರಹಿಸಿ ತೆಗೆದ ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಹಿನ್ನೆಲೆ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಧೂಳಿನಿಂದ ಮರೆಮಾಚಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದು, ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ದೂರದರ್ಶಕವು ಅವಗಂಪು ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಗ್ರಹಿಸಿ ತೆಗೆದ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ, ಹಿನ್ನೆಲೆ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ನಳನಳಿಸುತ್ತಿವೆ ಮಾತ್ರವಲ್ಲದೆ, ನಕ್ಷತ್ರದ ಅಂತ್ಯವನ್ನು ಅರ್ಥೈಸುವಲ್ಲಿ ಸಹಕಾರಿಯಾಗಿದೆ.



ಚಿತ್ರ-೧೦: ದಕ್ಷಿಣದ ಉಂಗುರ ನಿಹಾರಿಕೆ: ಹಬಲ್ ಚಿತ್ರ(ಎಡ) ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ಚಿತ್ರ(ಬಲ)

ದಕ್ಷಿಣಭಾಗದ ಆಳದ ಶಫರೀ[ವೋಲಾನ್ಸ್] ನಕ್ಷತ್ರಪುಂಜದ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಐದುನೂರು ಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದಿನ ಜಗತ್ತಿನ ಚಿತ್ರವನ್ನೊಮ್ಮೆ (ಚಿತ್ರ-೧೧) ನೋಡಿ. ಹಬಲ್ ದೂರದರ್ಶಕ ತೆಗೆದ ಚಿತ್ರ (ಎಡ)ದಲ್ಲಿ ಕಾಣಿಸಿಗದ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಮಾಹಿತಿಗಳು ಇಲ್ಲಿ ದಕ್ಕಿವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿನ ಕೆಂಪು ಪಲ್ಲಟವು ಈ ಗ್ಯಾಲಕ್ಸಿಗಳು ಸುಮಾರು ಸಾವಿರದ ಮುನ್ನೂರು ಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆಯೇ ರೂಪುಗೊಂಡಿರುವುದನ್ನು ಸಾಕ್ಷೀಕರಿಸುತ್ತದೆ. ಒಂದು ಶತಮಾನಕ್ಕೂ ಹಿಂದೆ ಆಲ್ಬರ್ಟ್ ಐನ್ಸ್ಟೀನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ 'ಗುರುತ್ವದಿಂದ ಬೆಳಕು ಬಾಗುವಿಕೆ' ಯ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಈ ಚಿತ್ರಗಳು ಪ್ರತ್ಯಕ್ಷ ಸಾಕ್ಷಿಯನ್ನೊದಗಿಸಿವೆ. ಈ ರೀತಿಯ ಚಿತ್ರಗಳು ವಿಶ್ವ ಯಾವ ದರದಲ್ಲಿ ಹಿಗ್ಗುತ್ತಿದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಮುಂದೊಂದು ದಿನ ಸಹಕಾರಿಯಾಗಲಿವೆ.



ಚಿತ್ರ-೧೧: SMACS 0723: ಹಬಲ್ ಚಿತ್ರ(ಎಡ) ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ಚಿತ್ರ(ಬಲ)

ನಕುಲ[Pegasus] ನಕ್ಷತ್ರಪುಂಜದ ದಿಕ್ಕಿನೆಡೆ ಸುಮಾರು ಇನ್ನೂರ ತೊಂಭತ್ತು ದಶಲಕ್ಷ ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷಗಳಷ್ಟು ದೂರದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಐದು ಗೆಲಾಕ್ಸಿಗಳ ಗುಂಪಿನ ಚಿತ್ರವಂತೂ ನಯನ ಮನೋಹರವಾಗಿದೆ. ಹಬಲ್ ದೂರದರ್ಶಕ ಕ್ಲಿಕ್ಕಿಸಿದ(ಎಡ) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಾಣಿಸಿಗದ ಇನ್ನೂ ಹಲವು ಗೆಲಾಕ್ಸಿಗಳು, ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಹಾಗೂ ನಿಹಾರಿಕೆಗಳ ರಾಶಿಯೇ ವೆಬ್ ದೂರದರ್ಶಕ ಸೆರೆಹಿಡಿದ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದಿದೆ. ಗೆಲಾಕ್ಸಿಗಳ ಒಡನಾಟ, ಕಪ್ಪುಕುಳಿಯ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಸಂಯೋಗದ ಅಧ್ಯಯನಕ್ಕೆ ಈ ಚಿತ್ರಗಳು ಸಹಕಾರಿಯಾಗಿವೆ. ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಪ್ರಶ್ನೆಯಾಗಿ ಉಳಿದಿರುವ ಕಪ್ಪುದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ಕಪ್ಪು ಶಕ್ತಿಯ ಅಧ್ಯಯನದ ಮೇಲೂ ಈ ಚಿತ್ರಗಳು ಬೆಳಕು ಚೆಲ್ಲುವ ಸಾಧ್ಯತೆ ಇದೆ.



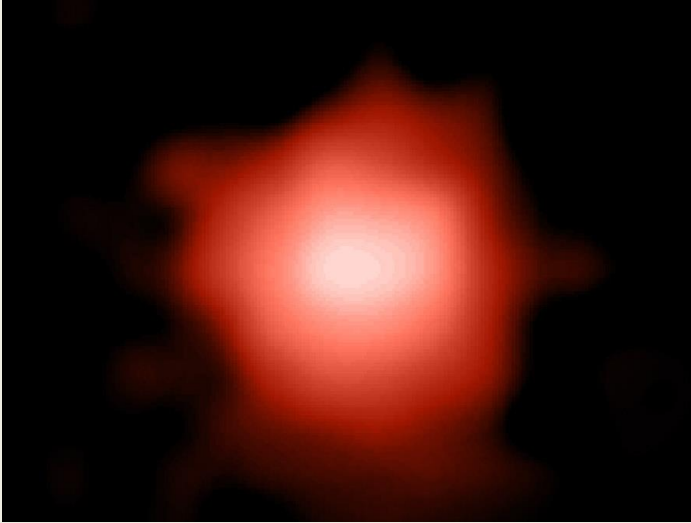
ಚಿತ್ರ-೧೨: Stephan's Quintet: ಹಬಲ್ ಚಿತ್ರ(ಎಡ) ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ಚಿತ್ರ(ಬಲ)





ಚಿತ್ರ-೧೩: ಕರೀನಾ ನಿಹಾರಿಕೆ: ಹಬಲ್ ಚಿತ್ರ(ಮೇಲೆ) ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ಚಿತ್ರ(ಕೆಳಗೆ)

ಏಳುಸಾವಿರದ ಆರುನೂರು ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷಗಳಷ್ಟು ದೂರದಲ್ಲಿರುವ ಹಾಗೂ ದೇವನೌಕೆ(Carina) ನಕ್ಷತ್ರಪುಂಜದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಕರೀನಾ ನಿಹಾರಿಕೆಯ ಚಿತ್ರವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಉಗಮ, ನಕ್ಷತ್ರ ಹಾಗೂ ಗ್ರಹ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳ ರಚನೆ ಮುಂತಾದವುಗಳ ಬಗ್ಗೆ ಅರಿವು ನೀಡಲಿದೆ. ಈ ಚಿತ್ರವು ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕದ ಸಾಮರ್ಥ್ಯಕ್ಕೆ ಹಿಡಿದ ಕೈಗನ್ನಡಿಯಾಗಿದೆ. ಅತ್ಯಂತ ಶ್ರೀಮಂತಿಕೆಯಿಂದ ಕೂಡಿರುವ ನಮ್ಮದೇ ಗೆಲಾಕ್ಸಿಯಲ್ಲಿನ ಕರೀನಾ ನಿಹಾರಿಕೆಯ ಚಿತ್ರವು ಕ್ಷೀರಪಥ ಗೆಲಾಕ್ಸಿಯ ರಚನೆಯ ಬಗ್ಗೆಯೂ ಹೊಳಹು ನೀಡುವುದರಲ್ಲಿ ಸಂದೇಹವಿಲ್ಲ.

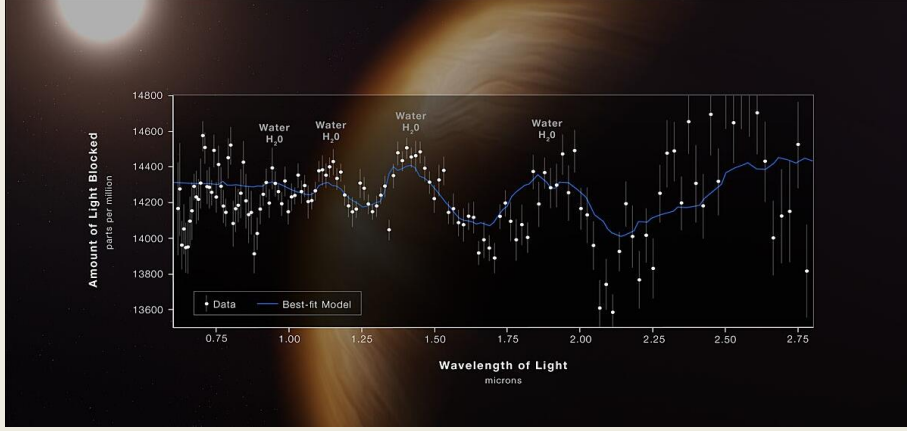


ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ದೂರದರ್ಶಕ ಇದೇ ಮೊದಲ ಬಾರಿಗೆ ೧೩.೪ ಶತಕೋಟಿ ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷಗಳಷ್ಟು ಹಳೆಯದಾದ ಅಂದರೆ ನಮ್ಮ ವಿಶ್ವ ಸೃಷ್ಟಿಯಾದ ಕೆಲವೇ ದಶಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಸೃಷ್ಟಿಯಾಗಿದ್ದ ಮತ್ತು ಆಗಿನ್ನೂ ಶೈಶವಾವಸ್ಥೆಯಲ್ಲಿದ್ದ ಅತ್ಯಂತ ಪುರಾತನವಾದ ಗೆಲಾಕ್ಸಿಯೊಂದನ್ನು ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚಿ ಸಾಧಕತೆ ಮೆರೆದಿದೆ.

ಚಿತ್ರ-೧೪: ಅತ್ಯಂತ ದೂರದ ಗ್ಯಾಲಕ್ಸಿ

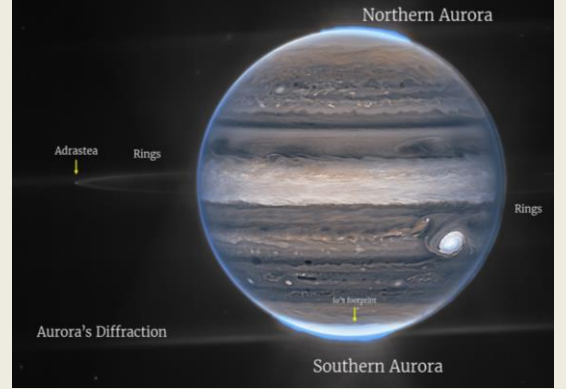
ಭೂಮಿಯಿಂದ ಸುಮಾರು ಒಂದು ಸಾವಿರ ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷ ದೂರದಲ್ಲಿ ಗ್ರಹವೊಂದಿದ್ದು, ಆ ಗ್ರಹದಲ್ಲಿ ನ ವಾತಾವರಣದಲ್ಲಿ ನೀರಾವಿ ಇರುವುದನ್ನು ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ದೂರದರ್ಶಕದಲ್ಲಿನ ಅವಗೆಂಪು ಸಮೀಪ ಸಂವೇದಿ ಯಂತ್ರವು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಿದೆ. ಈ ಬಾಹ್ಯಗ್ರಹಕ್ಕೆ ವ್ಯಾಸ್ಪ್-೯೬ಬಿ [wasp 96-b] ಎಂದು ಸರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದರಲ್ಲಿನ ಅತೀವ ಉಷ್ಣಾಂಶ ಜೀವಜಂತುಗಳ ಆವಾಸಕ್ಕೆ ಯೋಗ್ಯವಾದುದಲ್ಲ.

ಜೀವಯೋಗ್ಯ ವಲಯದಲ್ಲಿರಬಹುದಾದ ಬಾಹ್ಯಗ್ರಹಗಳ ಅನ್ವೇಷಣೆ ಖಗೋಳ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ಪ್ರಮುಖವಾಗಿದೆ.



ಚಿತ್ರ-೧೫: ವ್ಯಾಸ್ಟ್-೯೬ಬಿ ಬಾಹ್ಯಗ್ರಹ

ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ದೂರದರ್ಶಕವು ಸೌರವ್ಯೂಹದ ದೈತ್ಯ ಗ್ರಹವಾದ ಗುರುಗ್ರಹದ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಸೆರೆಹಿಡಿದಿದ್ದು, ನಾಸಾ ಸಂಸ್ಥೆಯು ಆಗಸ್ಟ್ ೨೧, ೨೦೨೨ ರಂದು ಈ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡಿದೆ. ಈ ಹಿಂದೆ ಯಾವುದೇ ದೂರದರ್ಶಕದಲ್ಲಿ ದಾಖಲಾಗದ ಧ್ರುವ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿನ ಬೆಳಕಿನ ಚಿತ್ತಾರ ಅರೋರಾ ಗಳನ್ನು ಇದರಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದಾಗಿದೆ. ಗುರುಗ್ರಹವೂ ಸಹ ಅತ್ಯಂತ ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾದ ಉಂಗುರ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದು ಇದರಿಂದ ಕಾಣಸಿಗುತ್ತದೆ. ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಸವಾಲಾಗಿರುವ ಇಲ್ಲಿನ ಬೃಹತ್ ಕೆಂಪು ತಾಣದ ಮೇಲೆ ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ದೂರದರ್ಶಕವು ಕಣ್ಣಿಟ್ಟಿದ್ದು, ಮುಂದೊಂದು ದಿನ ಇದರ ಪ್ರಕ್ಷುಬ್ಧ ವಾತಾವರಣಕ್ಕೆ ಕಾರಣ ತಿಳಿಯಲಿದೆ.



ಚಿತ್ರ-೧೬: ಗುರುಗ್ರಹ

ಹದಿನೈದರಿಂದ ಇಪ್ಪತ್ತು ವರ್ಷಗಳ ಸುದೀರ್ಘ ಪಯಣದಲ್ಲಿ ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ದೂರದರ್ಶಕವು ಈಗ ತಾನೆ ಅಂಬೆಗಾಲನ್ನಿಡಲು ಪ್ರಾರಂಭಿಸಿದೆ. ಇದರ ಚೊಚ್ಚಲ ಚಿತ್ರಗಳೇ ಇಷ್ಟೊಂದು ಅಮೋಘ ವಾಗಿವೆಯೆಂದರೆ, ಮುಂದಿನ ದಿನಗಳಲ್ಲಿ ಇನ್ನೂ ಹಲವು ಸೃಷ್ಟಿ ರಹಸ್ಯಗಳು ಜೇಮ್ಸ್ ವೆಬ್ ದೂರದರ್ಶಕದಿಂದ ಅನಾವರಣಗೊಳ್ಳುವುದರಲ್ಲಿ ಯಾವುದೇ ಸಂದೇಹವಿಲ್ಲ .

ಪರಾಮರ್ಶಿತ ಆಕರಗಳು

1. [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)
2. [www.eso.org](http://www.eso.org)
3. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)



# Determining the Force Constant of a Spring

Dr. K.S. Kiran, Jain University, Bengaluru

**Aim:** To determine the force constant of a helical spring from its load-extension and by the method of oscillation.

**Apparatus:** Light weight helical spring, slotted weights, stopwatch, Scale etc. Simulation software:

**Online simulation link:** [https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs\\_all.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_all.html)

**Formula used: Load-extension**

$$F = kx \quad \text{or} \quad k = \frac{F}{x}$$

**Oscillation method**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{or} \quad k = 4\pi^2 \frac{m}{T^2} \quad k = \frac{4\pi^2}{\text{Slope of graph}}$$

=

**Procedure:**

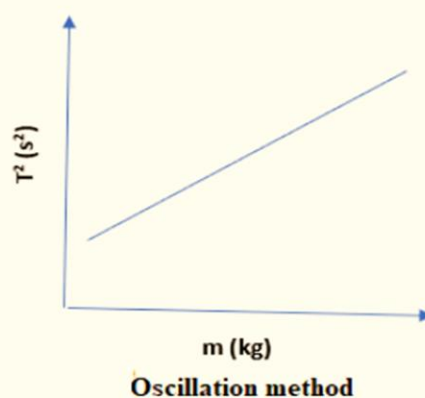
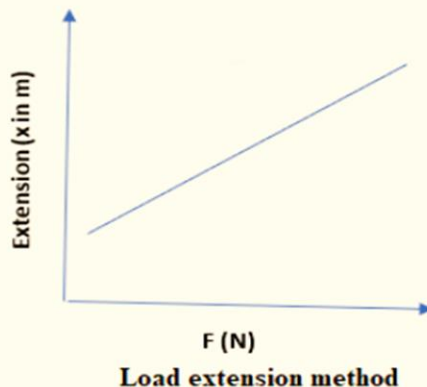
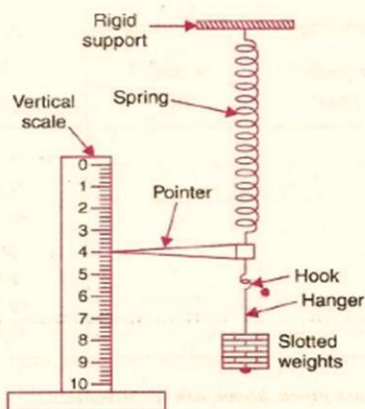
1. Suspend the helical spring from a rigid point support, as shown in Fig. Set the meter scale close to the spring vertically.
2. Record the initial position of the pointer on the meter scale, without any slotted mass suspended from the hook.
3. Suspend the slotted mass on the hanger gently. Wait for some time for the load to stop oscillating and attain equilibrium (rest) position, or even hold it to stop. Record the position of the pointer on the meter scale.
4. Repeat the procedure with different mass.
5. Compute the force and force constant using given formula.
6. Plot the graph by referring given reference graph, calculate slope and the force constant, and compare with the calculated value.
7. For oscillation method, suspend the mass and measure the time period using stopwatch.
8. Compute the force constant using given formula.
9. Plot the graph by referring given reference graph, calculate slope and the force constant compare with the calculated value.
10. Compare the calculated force constant using both its load-extension and by the method of oscillation.

**Results:**

Force constant using Load-extension method,  $K = \dots\dots\dots \text{N/m}$

Force constant using oscillation method,  $K = \dots\dots\dots \text{N/m}$

## Observation:



**Table 1: Load-extension method**

S. No.	Mass suspended from the spring, m(kg)	Force, F = mg	Position of the pointer	Extension, X(m)	Spring constant, K (= F/x)
1					
2					
3					
4					
5					

**Table 2: Oscillation method**

S. No.	Mass suspended from the spring, m(kg)	Mean position of pointer, x (cm)	No. of oscillation s, (n)	Time for (n) oscillations, t (s)				Time period, T = t/n (s)	T <sup>2</sup>
				1	2	3	Mean t (s)		
1									
2									
3									
4									
5									

## Load-extension

$$F = kx \quad \text{or} \quad k = \frac{F}{x}$$

## Oscillation method

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{or} \quad k = \frac{4\pi^2 m}{T^2} \quad k = \frac{4\pi^2}{\text{Slope of graph}}$$

# Determination of the coefficient of air resistance using a simple pendulum

B A Kagali, Bangalore University

T Shivalingaswamy, Maharani Science College, Mysore

**Abstract:** The amplitude of a simple pendulum slowly decreases due to the air resistance encountered by the pendulum bob. It is possible to determine the coefficient of air resistance by carefully measuring the pendulum amplitude at various times.

**Introduction:** A simple pendulum is a classic physics experiment that consists of a bob (weight) attached to the end of a string or wire, suspended from a fixed point. The pendulum swings back and forth due to gravity, executing simple harmonic motion.

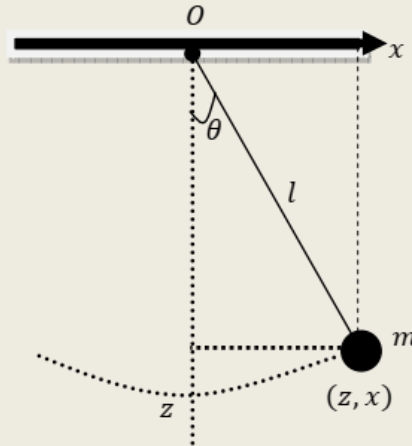
Simple pendulums are used to demonstrate fundamental physics concepts, such as gravity, oscillations, energy conservation and simple harmonic motion. They also have practical applications in timekeeping (clocks and watches), Seismology (measuring earthquake waves) and Navigation (gyroscopes and inertial navigation systems).

**Theory:** Assuming the air resistance force proportional to the velocity of the bob and neglecting the resistance faced by the string, the equation of motion of the bob of mass  $m$  and the string length  $l$  is

$$I\ddot{\theta} = -mgl \sin\theta - kAl^2\dot{\theta} \quad (1)$$

For small amplitudes and a spherical bob,  $\sin\theta \cong \theta$ ,  $I = ml^2$ .

$$\therefore \ddot{\theta} + \left(\frac{g}{l}\right)\theta + kA\dot{\theta} \cong 0. \quad (2)$$



We can solve this (with the assumption)  $\theta = \text{Re}[e^{-i\alpha t}]$ .

$$\text{Hence, } \left\{-\alpha^2 + \omega^2 + i\frac{kA}{m}\alpha\right\} = 0 \quad (3)$$

Where  $\omega^2 = \frac{g}{l}$ , put  $\lambda = \frac{kA}{2m}$ .

$$\text{Then } \alpha \text{ can be obtained from } \alpha^2 - 2i\lambda\alpha - \omega^2 = 0 \quad (4)$$

$$\therefore \alpha = \frac{2i\lambda \pm \sqrt{-4\lambda^2 + 4\omega^2}}{2} \quad (5)$$

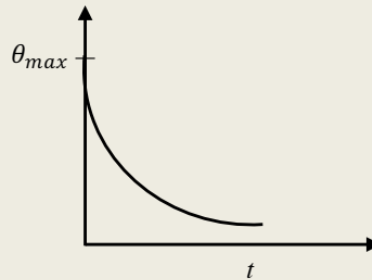
As  $|\lambda| \ll \omega$ , due to small damping effect we get

$$\alpha = \sqrt{\omega^2 - \lambda^2} + i\lambda \quad (6)$$

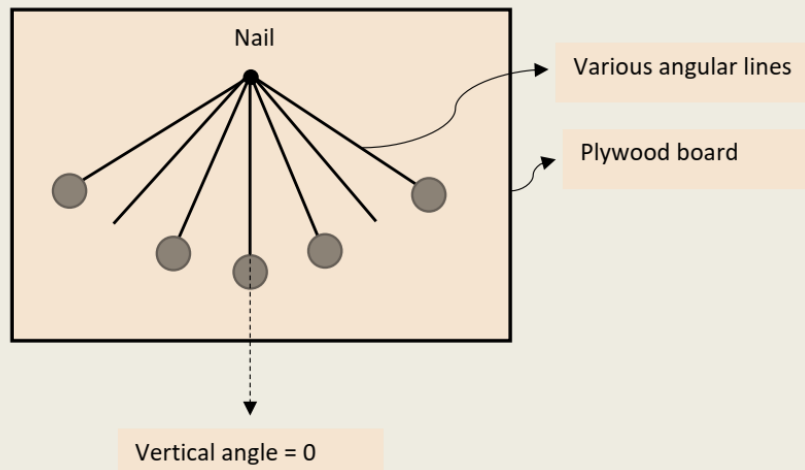
This means the frequency of oscillations is  $\sqrt{\omega^2 - \lambda^2}$  and the damping coefficient is  $\lambda$ .

That means  $\theta = e^{-\lambda t} \cdot \sin\{\sqrt{\omega^2 - \lambda^2} \cdot t\}$

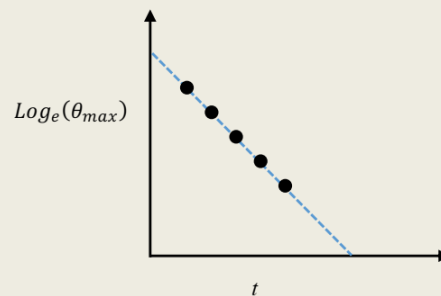
For  $|\lambda| \ll \omega$ , we get a plot for the amplitude  $\theta_{max}$ , where  $\theta_{max}$  is the maximum angular displacement



**Experimental Procedure:** We setup small oscillations in a plane (of a pendulum with mass  $m$  and bob radius  $R$ ). Then record  $\theta_{max}$  as time passes with the help of angular scale and camera. i.e., the pendulum is set to make small oscillations, the angular amplitudes at different times are recorded. A mobile phone camera can be used to record the angular displacement.



From a plot of  $\text{Log}_e(\theta_{max})$  versus time, we get



$\lambda = -\text{slope of } \text{Log}_e(\theta_{max}) \text{ versus } t.$



But

$$\lambda = \frac{kA}{2m}.$$

Therefore,  $k = \frac{2m}{A}$ .

Thus  $k$  is independent of  $l$  and we can assume  $A \cong \pi R^2$ .

Hence by knowing mass and radius of the bob we can estimate  $k$  the coefficient of air resistance. The experiment can be repeated for pendulums different masses and radii to get the best possible (average) value of  $k$ . Changing mass or radius of the bob should not change the value of  $k$ , this can be verified experimentally.

**Result:** The coefficient of air resistance is found to be .....

\*\*\*\*\*

**The important thing is to never stop questioning. — Albert Einstein**

**Somewhere, something incredible is waiting to be known. — Carl Sagan**

**The good thing about science is that it's true whether or not you believe in it. — Neil deGrasse Tyson**

**Science is organized knowledge. Wisdom is organized life. — Immanuel Kant**

**In science, there are no shortcuts to truth. — Louis Pasteur**

**The science of today is the technology of tomorrow. — Edward Teller**

**Exploration is the essence of the human spirit. — Frank Borman**

**Nothing in life is to be feared; it is only to be understood. Now is the time to understand more, so that we may fear less. — Marie Curie**

**If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants. — Issac Newton**

**The imagination of nature is far greater than the imagination of man. - Richard Feynman**

**An expert is a person who has made all the mistakes that can be made in a very narrow field. — Niels Bohr**

## WEBINARS HELD FROM 1 AUGUST TO 31 OCTOBER 2024

Sl.No.	Date	Speaker	Topic
1	04.08.24	Dr.Abdul Khadar	Composite Materials
2	11.08.24	Sri.T S Suresh	Agastya Foundation
3	18.08.24	Dr.P Venkataramaiah	Role of Universities in high school Science and Maths. Education (Kannada)
4	01.09.24	Dr.Deepak Dhar	The Curious Relationship between mathematics and Physics
5	15.09.24	Dr.Sujatha S	Optical telescopes
6	22.09.24	Dr.Ajith Parameswaran	From Galileo to Gravitational Waves
7	06.10.24	Dr.C V Yalamaggad	How can liquids be Crystals?
8	13.10.24	Dr.K S Dwarakanath	The Radio Universe
9	27.10.24	Dr.J R Tonannavar	The Incredible Raman!

### The Science Program Enthusiast

After attending a series of science programs, a curious participant told the organizer, “I’ve been to all your workshops this year – physics, chemistry, biology – but I still feel like I’m missing something!”

The organizer chuckled, “Well, maybe you need to attend our next program on *magnetism*.”

The participant looked puzzled, “Why magnetism?”

The organizer smiled, “Because clearly, you’re *attracted* to science!”

## ACTIVITIES OF KPA MEMBERS

(From 21<sup>st</sup> September to 31<sup>st</sup> October 2024)

- Dr. K.S. Kiran delivered a talk on Crystal structure determination, molecular docking and dynamics of arylidene sinusitis as potential JNK3- inhibitors for ischemia-reperfusion injury. At 4<sup>th</sup> International Conference on Pure and Applied Chemistry organized by the Dept. of Chemistry, KL Deemed to be University, Vijayawada, Guntur dist, 2-3 Feb 2024.
- Dr. K.S. Kiran spoke on: Crystal and molecular docking studies of 3-hydroxy-2-((2-hydroxy-4,4-dimethyl-6-oxocyclohex-1-enyl) (4-methoxyphenyl) Methyl)-5-dimethyl cyclohexyl-2enone- with focal adhesion kinase inhibitors, 15<sup>th</sup> international conference Advancement in polymeric materials APM 2024, organized by CIPET: IPT Ahmedabad. During 14<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> March 2024.
- Dr, B.S. Srikanta delivered a talk on the life and legacy of C V Raman at Sarada Vilas College, Mysore on 28<sup>th</sup> February 2024.
- Dr.B A Kagali and Dr. B N Meera visited Agastya Foundation, Kuppam as Chief guests to interact with the participants at a workshop for high school science teachers on 1<sup>st</sup> August 2024,
- Dr. B A Kagali and Dr. P Nagaraju served as resource persons at an experimental workshop for students at Rajeshwari School, Bengaluru on 14<sup>th</sup> September 2024.
- Dr. B A Kagali delivered a talk on the end stages of stars at BIFR, Bengaluru on 28<sup>th</sup> September 2024.
- Dr. B A Kagali and Sri Liakhat Ali Khan served as resource persons at a workshop for students at BBMP Higher Secondary School, Kodandaramapura, Bengaluru on 25<sup>th</sup> October 2024.
- Dr. B A Kagali served as a resource person at Siddaganga Public School, Chandra Layout, Bengaluru on 28<sup>th</sup> October 2024
- Sri H.D. Ananda served as a resource person at BMS College of Engineering on 28th October 2024.
- Dr B. Rudra Swamy participated as a resource person at BIET, Davangere on 21<sup>st</sup> October 2024 in the workshop on Advanced Research Project Proposal Presentations.
- Prof. Raghavendran delivered a lecture on Physics problem-solving at AES National College, Gauribidanur on 15<sup>th</sup> October 2024

\*\*\*\*\*

