

ISSN 2347 2782

Vol. VIII

પ્રગતા તરંગ - 2016

"Progressive wave . . . "

Annual magazine-journal of
Physics and related areas
(Gujarati/English)

...Gravitational Waves...

...પૃથ્વીના જન્મની કથા...

...ફોટોનીકસ...વૈજ્ઞાક અચળાંકો...અનુનાદ...એન્ટ્રોપી...

...'Field' in Physics...



A publication of

INDIAN ASSOCIATION OF PHYSICS TEACHERS IAPT RC - 7 (Gujarat)
(Support : Gujarat Council on Science and Technology - Gandhinagar)

પ્રાતી ટર્ન - 2016

ANNUAL GUJARATI PUBLICATION OF ARTICLES ON PHYSICS AND RELATED AREAS

Vol. VIII, Year - 2016

Published By : IAPT RC - 7 (Gujarat)

Editorial Committee

Dr. Shakuntala G. Nene (Rajkot)

Prof. K. N. Joshipura (Anand)

Dr. Tushar C. Pandya (Secretary RC-7, Ahmedabad)

Dr. Tarun R. Trivedi (Dakor)

Dr. Kinnari Parekh (Charusat Uni., Changa)

Advisory Committee

Dr. Madhuben S. Shah - Vadodara

Prof. R. V. Mehta - Bhavnagar/Pune

Prof. V. N. Potbhare - Vadodara

Prof. A. R. Jani - Vallabh Vidyanagar

Prof. P. N. Gajjar - Ahmedabad



IAPT RC-7 EC (Jan 01st 2016 to Dec 31st 2018)

RC-7 President

Prof. Rajmal Jain

Kadi Sarva Vishwa Vidyalaya University,
Gandhinagar -

Vice President

Prof. Vijay N. Potbhare

Retd. Prof. MSU Vadodara

Secretary

Dr. Tushar C. Pandya

St. Xavier's College Ahmedabad

Treasurer

Prof. Mrs. Rajashree B. Jotania

Physics Department, School of Sciences,
Gujarat University, Ahmedabad - 380009

EC Members

Prof. Girish L Vekaria

Sir P. T. Science College, Modasa - Dist Aravali

Dr. Dipak H Gadani

C. U. Shah Science College, Ahmedabad - 9

Dr. Prashant G Acharya

KKSJ Maninagar Science College, Ahmedabad - 8

Dr. Tarun R Trivedi

Bhavan's College, Dakor - SPU (Dist. Kheda)

Prof. Viresh H. Thakker

Sir P. T. Science College, Surat (VNSGU)



Co-opted Members

Dr. Kiran K. Patel

S. M. Panchal Science College, Talod

Dr. G. M. Sutaria

Physics Department,

Sir P. P. Institute of Science

Bhavnagar – 364001

Dr. Darshan Vyas

Physics/Electronics Department

H. North Gujarat University, Patan - .. (NG)

Ex-officio members

Prof. P. D. Lele , Past Secy

Physics Department, School of Sciences

Gujarat University, Ahmedabad - 380009

Prof. R. V. Upadhyay

Past President

Principal, P. D. Patel Institute of Applied Sciences,

Charusat University, At Po Changa Dist Anand

Dr. J. A. Bhalodia

EC Member –Central Body

Department of Physics,

Saurashtra University, Rajkot – 360005

Prof. K. N. Joshipura

Vice President (West zone) IAPT Central Body

Retd. Prof. SPU, VVN Anand

Acknowledgement

This issue was funded in part by,

Physical Research Laboratory, Ahmedabad
for a partial funding in support of this publication.





At Hyderabad Convention October 2015



Teachers' workshop at Surat

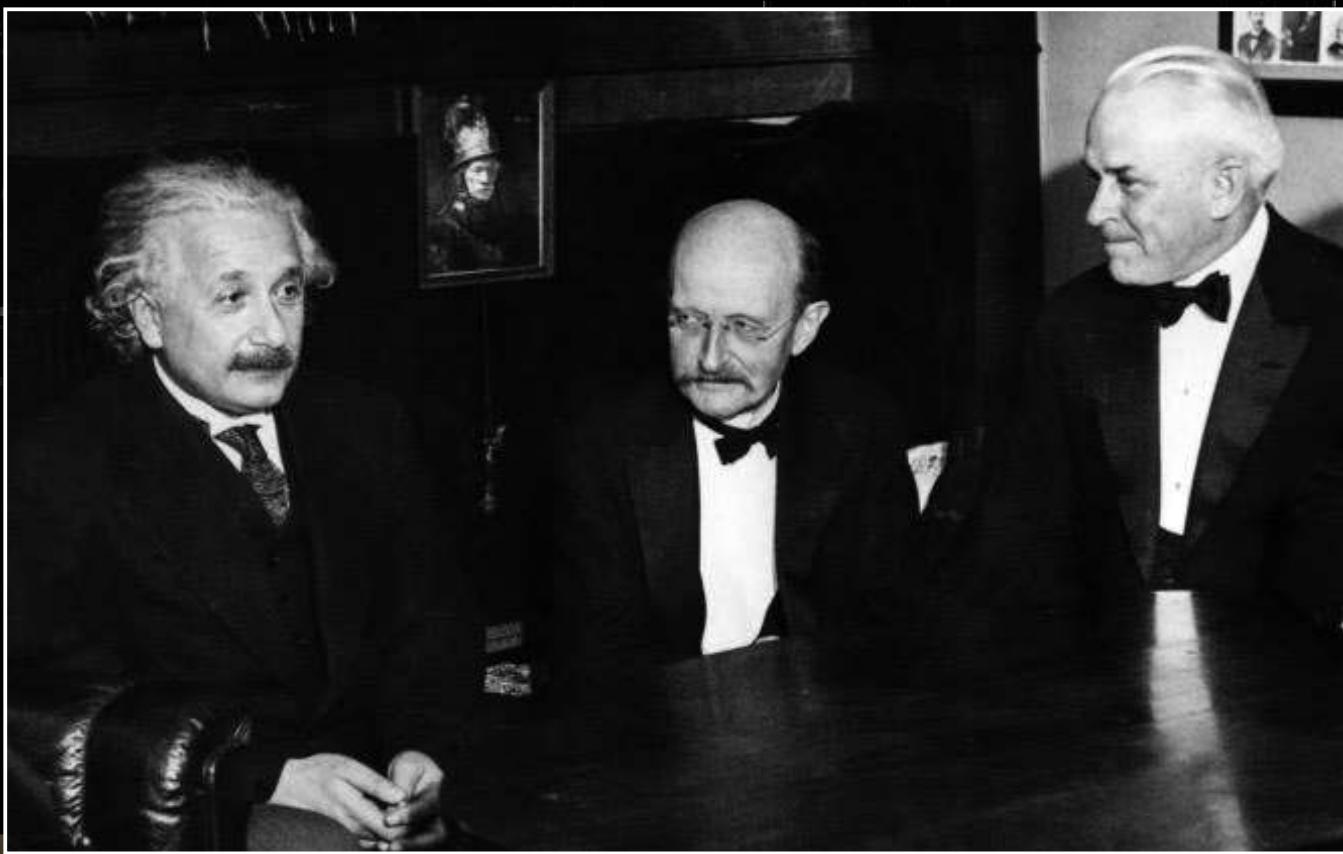


National Science Day at Vallabh Vidyanagar



Guru and Shisya

(Sketches by Narendra Chauhan, IPR-Gandhinagar)



Robert Millikan (right in the photo) verified Einstein's photoelectric equation in 1916, although he himself was not ready to believe in the Planck-Einstein theory of light quanta...!

₹ 20/-

A publication of

ISSN 2347 2782

INDIAN ASSOCIATION OF PHYSICS TEACHERS IAPT RC - 7 (Gujarat)
(Support : Gujarat Council on Science and Technology - Gandhinagar)



IAPT RC-7, motivated by veteran nuclear physicist Prof. S. P. Pandya, organized a Science Writers' Workshop at Science City Ahmedabad in mid-2009. An important outcome of the Workshop was a decision to bring out a publication of articles on Physics and related areas in Gujarati, and thus started *Pragaami Tarang*. The first article in the first volume of *Pr Tr* was the Gujarati translation of renowned astronomer Prof. Jayant Narlikar's article '*why study astronomy*', on the occasion of the International Year of Astronomy 2009. And now, we are so happy that the present (VIIIth) volume of *Pr Tr* opens up with an elegant article written by Prof. Narlikar, on the hot topic and a big discovery of gravitational waves. It is a pleasure to thank him for kindly agreeing to write for our magazine-journal. Veteran scientist and writer Prof. J. N. Desai continues to unravel here the wonders of the universe, and this time he narrates the birth of the Earth and the first four billion years.

This volume brings to you a rich variety of other topics ranging from fundamental constants of Physics, to photonics - the 21st century technology. A physics teacher nicely narrates the developments in electrostatics-electricity and magnetism that culminated finally into electromagnetism. Resonance, a phenomenon of far reaching implications and applications, is the theme of a yet another interesting article. Also explored here is entropy, a mysterious looking concept of Physics. It is refreshing to see the new *avatar* of entropy in the form of Information theory. It will also be interesting to read about the field-concept in classical and quantum Physics. A young worker from the field of Forensic Science has written on spectroscopies and their applications, while an M. Sc. student writes on radio-telescope, a wonderful window to the universe. Finally a young teacher gives a brief account of theory and experiment on a lengthening pendulum. The last page is devoted to humour as usual. In all there are 11 articles with 03 in English in this issue. Box items and quotes etc that seek to add sugar and spice to main themes of the articles are retained in English. We hope to continue the tradition of including about three to four articles and other items in English, for a wider readership.

It is a pleasure to put on records that *Pr Tr* team comprises of about 10 motivated authors, who are basically mid-career Physics teachers in different institutions, and that is over and above the retired but active teachers/scientists.

We are thankful to the IAPT - Central Body for facilitating the *IAPT PRAGAAMI TARANG GUJARATI PUBLICATION CORPUS FUND*, and to the Kanpur Office for their consistent support. It is also nice to see this publication uploaded on the website *Indapt.org*.

We acknowledge with many thanks the donations received in the Corpus Fund so far. *Pragaami Tarang*, the *progressive wave*, will continue to progress in space and time with the support - financial and moral as well - from all.

Aavjo ... till we meet next...!

September 05, 2016

- Editors



➤ Editorial...	
➤ Gravitational Waves: Their Searches and Discovery Prof. Jayant V. Narlikar	01
➤ પૃથ્વીનો જન્મ અને પ્રથમ 4 અબજ વર્ષ પ્રો. જે. એન. દેસાઈ	07
➤ ભૌતિકશાસ્ત્રના મૂળભૂત અચળાંકો - એક વિહંગાવલોકન પ્રો. વિરેશ એચ. ટક્કર	12
➤ વિદ્યુત અને ચુંબકત્વ - સ્વતંત્ર પ્રારંભ, ઐતિહાસિક સમન્વય ડૉ. ચેતન કે. ચૌહાણ	21
➤ ફોટોનીક્સ-21મી સદીની ટેકનોલોજી Prof. V.P.N. Nampoori & Dr. Manu Vaishakh અનુવાદક: ડૉ. દીપક એચ. ગદાણી	28
➤ અનુનાદ- એક સર્વખ્યાપી ઘટના ડૉ. તરુણ આર. ત્રિવેદી	32
➤ એન્ટ્રોપી - એક અમૂર્ત, ગૂઢ, નિરપેક્ષ વિભાવના ડૉ. એમ. પી. મારુ અને પ્રો. કે. એન. જોધીપુરા	38
➤ <i>Field Concept in Physics</i> Dr. Nisarg K. Bhatt	42

➤ વર્ણપત્રવિજ્ઞાન અને તેના બહુવિધ ઉપયોગો	48
ચૈતન્ય જે. કરથીયા	
➤ ખગોળને નીરખવાની ડિવ્યદશ્ટિ-રેડિયોટેલીસ્કોપ	53
અભય વિ. પડસાણા	
➤ Lengthening Pendulum: Theory and Experiment	55
Dr. Chirag A. Jhala	
➤ છળવી પત્રોમાં	56

Picture Credits - Google

પ્રાગામી તરંગા

"Progressive wave . . . "

Editorial Office

4, Punit Park
Anand - Vidyanaagar Road
ANAND - 388 001

Gravitational Waves: Their Searches and Discovery

Prof. Jayant V. Narlikar

Inter-University Centre for Astronomy & Astrophysics
(IUCAA) Pune

Editors are highly grateful to Prof. Narlikar for kindly agreeing to write this article for Pragaami tarang - 2016.

A hundred years ago

The year 2015 was known amongst scientists as the 'Centenary Year' of the remarkable theory of General Relativity. When in 1915, Albert Einstein published his famous paper on this theory, there were very few who understood it. To the typical physicist, it was hard to extract the crucial physical content out of the highly messy mathematical equations that described it. Normally, a physical theory is understood and tested for validity, by as many different ways as possible. Not so with General Relativity (*GR* in brief hereafter). Indeed, it was hard even for scientists to appreciate that *GR* was a theory of gravitation, unlike the famous Law of Gravitation of Isaac Newton which, clearly stated that the phenomenon of gravitation was described by a force of attraction between two masses, say, M_1 and M_2 separated by a distance d , amounting to

$$F = G M_1 M_2 / d^2$$

Here G is the constant of gravitation.

There is considerable argument about when to date the origin of the law of gravitation. We may, to fix ideas, date this law as originating around 1680, say. The law was remarkably successful in explaining the dynamics of heavenly bodies like the Sun, the planets, satellites like the Moon, asteroids, comets, etc. However, on the laboratory scale, there were very few experiments to test the law. The pioneering one amongst these was the experiment conducted by Henry Cavendish in the year 1797-98. It measured the gravitational force between two laboratory scale masses and succeeded in measuring the value of G .

Testing GR

Against this background of a highly successful Newtonian theory, what did *GR* have to offer? To begin with, it showed that if the gravitational attraction is weak in strength, then the *GR* is no different from the Newtonian law of gravitation. While this was satisfactory that all the Newtonian tests would be passed by *GR*, the scientists' real interest was in those experiments wherein the two theories *differ* in their prediction. In short, could one devise a test which would tell which theory was right or whether both were wrong?

That is why when in the years following 1915, the Cambridge astronomer and mathematician Arthur Stanley Eddington proposed one such experiment, the idea was greatly welcomed. The experiment involved measuring the shift in the image of a star when the light rays from it graze the surface of the Sun. The rationale of the measurement was simple: if the huge mass of the Sun and its considerable gravitational effect bent the ray from the star, the star image in the observer's view should shift its position (See Fig. 1) and, measurement of the shift should tell us how much was the bending.

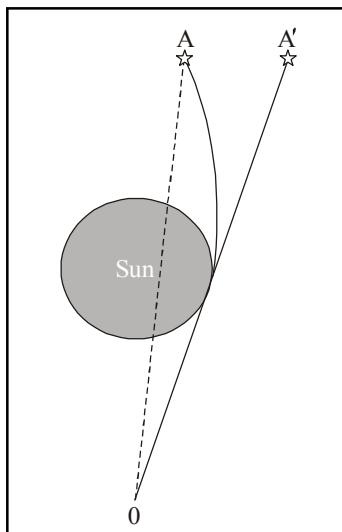


Figure 1 : The dotted line is the Euclidean straight line along which light from the star A travels to the observer O, when the Sun is not anywhere near this line of sight. If, however, the Sun comes in the way, its gravitation modifies the geometry in its neighbourhood, making it non-Euclidean. The light from A then 'bends' as shown by the continuous line, and the observer O sees the image of A shift to A' tangent to the light path at O.

Newton's law as interpreted by scientists gave the answer as 0.875 arc-second, although Newton himself had refused to make a prediction, stating that the issue was too speculative for him to undertake the calculation. His famous reaction to highly speculative ideas was well known through the Latin sentence: *Hypotheses non fingo* (I do not frame hypotheses). The answer given by GR to the same question was double the Newtonian value, at 1.75 arc-second. We should remember that one arc-second measures an angle that is so small as 3600th part of a degree.

The measurement of actual bending of course could not be done except at a total solar eclipse, for it alone provides a set of conditions when the star can be seen *while the Sun is in the observer's part of the sky*. Eddington planned to take advantage of the total solar eclipse due in 1919. To appreciate how small these angles are, 3600 arc-second make one degree of angle.

In the pioneering experiment Eddington had two teams of observers, one going to Sobral in Brazil and the other to the island of Principe in Guinea in Africa. He himself opted for the latter. The actual account of the experiment is full of trials and tribulations. Bypassing that, we come to the final answer which favoured the GR value. While the changeover in belief from the Newtonian regime to the relativistic one was gradual, matching the improvement in the design and conduct of experiments used to distinguish between the two theories, today GR takes the place of honour as the theory of gravitation.

GR and geometry

Why was GR considered too complex for understanding? The main difficulty for physicists to grasp was that the theory did not consider gravitation as a 'force'. Rather, it considered gravitation as manifesting through geometry. To understand this conclusion a little 'tutorial' is called for. In our school

geometry we learnt what parallel lines are. *Two parallel lines never meet one another even if they are extended to arbitrary lengths.* So if we are given a line ℓ and a point P lying outside it (See Fig. 2), how

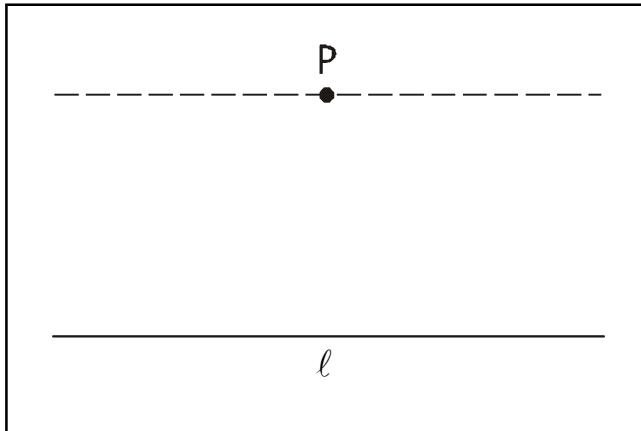


Figure 2: The parallel postulate of Euclid, described in the text.

many lines through P can we draw parallel to ℓ ? Our intuition gives the answer as 'one'. But do we have a proof of this result?

The answer is 'No'. Indeed, Euclid, the originator of geometry tried to prove this result as one of the theorems. He could not, and eventually included it amongst his axioms or unproven basic assumptions. And, later mathematicians argued that there ought to exist other geometries that permit either (i) more than one line to be drawn parallel to ℓ or, alternatively, (ii) no line to be so drawn. Such geometries are collectively called by the name *Non-Euclidean geometries*.

One example of such a geometry is that on the surface of a sphere. Take two points on the surface of a sphere Σ , X and Y , say. A straight line connecting X and Y can be found by stretching a thread across these points. This is because a straight line between two points lies along the track of shortest distance. Indeed it can be shown that such lines are cut out on Σ by planes passing through the centre of Σ . These lines are in fact circular and are called great circles. It can be shown that any two such great circles intersect and so *there are no parallel lines on a sphere*.

Our purpose in going through this example was to show that a non-Euclidean geometry is not such an outlandish idea after all. But do such geometries have any useful role to play? It was Einstein's genius that led to an affirmative answer with the medium of *GR*. Using an over-simplified example we can say that the presence of a massive body in space leads to a change of geometry from a Euclidean to a non-Euclidean one. The change is a manifestation of gravitational effect of the massive body. A thought experiment may help clarify this issue.

Imagine that three observers A , B , C are stationed around the Sun to form an equilateral triangle whose sides are light rays connecting these observers. How much should the three angles of the space triangle ABC add up to? If Euclidean geometry prevailed the answer should be 180 degrees. The actual result predicted by *GR* is around 4 arc-second more than that. Small though the difference is, it is very significant in testing the theory.

However, practical difficulties prevent such a test! Our observers will not survive to near the Sun, for example. The test conducted by Eddington described earlier is somewhat similar and has been considerably improved in accuracy.

We now consider the main theme of this article.

Gravitational waves

The above example illustrates how difficult it is to measure tangible effects predicted by GR and why the theory has remained aloof from the rest of physics. Thus one important question that needed to be answered was: *Do gravitational effects travel as waves across vast cosmic distances with the speed of light?* The reason for raising this question was the expected similarity between electromagnetic theory and gravitation. In the former theory it was well established that electric and magnetic effects travel across space at the speed of light. However, that theory was formulated differently from gravitation. The electric field and the magnetic field are two inter-related entities which travel outwards whenever an electromagnetic phenomenon occurs. For example, when alternating current is passed through a loop of wire, electromagnetic waves emerge in all directions from the loop. Should we expect similar waves of gravitational nature to arise, if, say, two massive objects collide?

The question is very simply worded but not easy to answer! In the geometry based picture of GR that we earlier saw, it is hard to separate the changes of geometry of the ambient space from the changes of gravity that arise from collision. Indeed the question was not answered in Einstein's lifetime although there were several attempts (including claims that turned out to be wrong) to do so. Leopold Infeld, a Polish physicist who had come to work with Einstein in the Institute of Advanced Study at Princeton narrates one incident in his autobiographical account called *Evolution of a Physicist*. On this occasion Einstein found that his mathematical analysis led him to the conclusion that *gravitational waves do not exist*. Realizing that this was an important result he agreed to give a seminar on the work. The seminar was announced but as per practice Einstein's name was withheld in the notice. [This was the usual practice since it was felt that his name would draw a horde of media persons from New York.] However, checking through the algebra of his work on the previous day, Einstein was horrified to detect a mistake of sign. When corrected for the same, his claimed conclusion did not stand. Should he cancel the seminar? After some deliberation Einstein decided to go ahead with it. At the seminar he went through his calculation on the blackboard and concluded by showing where he had gone wrong.

In the early 1960s (Einstein died in 1955) work by several authors including the active group at King's College, London consisting of Herman Bondi, Ivor Robinson and Felix Pirani, helped clarify the various tangled issues and led to the conclusion that gravitational waves do exist. The next challenge before the general relativists was: How to detect them? The problem here was not one of conceptual nature but practical one. Most sources were too weak to be detected by the technology available. We will briefly look at the kind of problem presented.

Sources of gravitational waves

A comparison with the electromagnetic example will help appreciate the issue. We had mentioned an alternating current being passed through a loop of wire. A hand-held loop will be able to generate electromagnetic waves detectable by a laboratory receiver. A corresponding lab-source of gravitational waves may consist of two masses of M kg each, made to go round each other so fast that they make

one revolution in a millisecond. If the length scale of the system is L metres, calculations show that for typical laboratory values like $L = 10$ Metres, say, and $M = 10$ kg the gravitational radiation emitted by the source is as low as 5×10^{-31} Watt.

This example demonstrates that a technology of foreseeable future will not be able to make a laboratory source for testing the existence of gravitational waves. As a short term experiment therefore one needs to make the best of cosmic sources. [Recall, the law of gravitation was first tested in the cosmic setting rather than in the laboratory.] Thus instead of two masses spinning around each other in our laboratory example, we now have two stars going round each other.

Indeed the radio astronomers J.H. Taylor and J.M. Weisberg in 1984 examined the period of the binary system made of a pulsar with catalogue number PSR 1913+16 and a neutron star. They found that the period of the binary is *decreasing* at the tiny rate of 2.4 picoseconds per second. Indeed this minute measurement was possible because the pulsar in the system provides a very accurate timepiece. The result could be explained by arguing that as the binary system emits gravitational waves it loses energy and its period decreases while the orbit size decreases. The latter effect was also found. Moreover the rate of increase of the period agreed with the relativistic formula.

There can be other cosmic sources of gravitational waves: *supernovae* for example describe exploding stars. These will be transient waves since their origin is due to an exploding event of limited duration. Colliding stars especially massive black holes are another on the source list. We have described binary stars as a steady source. Here the binary orbit steadily shrinks. More dramatic will be such binaries when they approach a limit when the two stars come close enough to merge. *Coalescing binaries*, as they are called, have not yet been seen by optical or radio telescopes and are expected to be of short duration as they approach this limit but they will be more dramatic. Additionally we should reserve a new category of sources not yet known. For example, the *quasi-steady state cosmology* which was proposed as alternative to big bang needs *explosive creation events* which will certainly emit gravitational waves.

Detection of gravitational waves

In early 1960s Joe Weber at the University of Maryland, USA had taken the lead in devising a detection system for such waves. He used metallic bars with piezoelectric strain transducers. The idea was that as a gravitational wave passes through space it carries with it information of small geometric changes. Since space geometry is influential in measuring distances of objects, the changed distances in the piezoelectric material will cause strains to arise and these can be detected and measured by electrical means. Weber had set up two such bar detectors, one in Maryland and the other in Chicago. A multiple detection system generates more confidence in a signal: for, if both detectors show it then the signal would be genuine: otherwise it may come from some local artifact.

Weber's system failed to detect a credible gravitational wave signal. The main reason was that his equipment was not sensitive enough. Other bar-detectors like those in Rome and Perth (Australia) also failed to detect a signal. The next generation of detectors using interferometers became popular.

At the time of writing there are *Laser Interferometric detectors* which use the Michelson interferometer for detection. In an interferometer (See Fig.3) a light ray, after being split up in two parts, is made to travel along two alternative paths before combining. The interference of these rays leads to a measure of



Figure 3: The LIGO detector (photograph by the courtesy of the LIGO team).

distance travelled. The passage of a gravitational wave alters the space time geometry which leads to slight changes in the distance travelled by the light beams. These changes are very minute but these, the interferometer is supposed to detect. To make the equipment more sensitive, the rays are from a laser and they travel in a high grade vacuum over large distances (the longest being 4 km).

The first and pioneering detector was built in two places in the USA, one in North West in Washington State and the other diagonally across the continent near New Orleans. Known as the "Laser Interferometric Gravitational-wave Observatory (LIGO)" the observatory started functioning in the last decade of the twentieth century. For several years the detector failed to detect any credible signal. The instruments were upgraded in 2015 and the observatory is now known as "Advanced LIGO". There are other smaller detectors in Europe like VIRGO, GEO and there is TAMA in Japan.

LIGO finally hit the jackpot and reported positive signals in February 2016, although the signals were first detected a few months earlier, on September 14, 2015 at 5.51 am. A crude calculation indicates that these arose from a collision of two black holes of 29 and 36 solar masses some 1.3 Billion light years away.

This important discovery was recognized by major awards to three principal founders of LIGO, including Caltech's Ronald W.P. Drever and Kip S. Thorne, and MIT's Rainer Weiss. Additionally, more than 1000 scientists including 37 from India were recognized as part of the LIGO collaboration responsible for this discovery.

This discovery opens out another major method of looking at the cosmos, perhaps as important for astronomy as the use of telescope. It is encouraging therefore that India is joining the LIGO network by contributing a similar detector as in advanced LIGO. An additional detector will improve our perception of the direction of the source. We should also mention that Indian expertise in data analysis played a major role in this discovery. As the hardware technology improved, the software component also progressed mainly as Indian contribution under Sanjeev Dhurandhar and the scientists trained in India by Sanjeev. With LIGO India coming on line the scope for research in this area looks promising.

પૃથ્વીનો જન્મ અને પ્રથમ 4 અબજ વર્ષ

પ્રો. જે. એન. દેસાઈ
નિવૃત વિજ્ઞાની
ફિક્રીકલ રીસર્ચ લેબોરેટરી, અમદાવાદ

'Birth of the Earth-the first four billion years' એ શીર્ષકના મૂળ અંગેજુ લેખનો આ અનુવાદ
પ્રો. કે. એન. જોણીપુરાએ કર્યો છે.

પૃથ્વીનો જન્મ કચારે અને શી રીતે થયો ?! આ ઘરતી પર જીવન શી રીતે પ્રગટ્યું અને પાંગર્યું ?! કોઈ પણ જીજાસુને આવા સવાલો થાય તે સ્વાભાવિક છે. આ લેખમાં આપણે પૃથ્વીના જન્મ અને તેના પ્રથમ 4 અબજ વર્ષની વૈજ્ઞાનિક ઝાંખી કરવાના હીએ. સૌપ્રથમ તો યાદ આપીએ કે, 'પ્રગામી તરંગ'ના અગાઉના અંકોમાં આપણે, હાલમાં સ્વીકારાયેલ તેમજ સૈફાંતિક રીતે અને અવલોકનોથી પુષ્ટિ પામેલ, એવી બે બાબતોની છણાવટ કરી છે તે બે બાબતો આ હતી.

- (1) આપણું અત્યારનું બ્રહ્માંડ, શી રીતે, આશરે 13.7 billion (અબજ) વર્ષો પૂર્વે અસ્તિત્વમાં આવ્યું ? (1 અબજ=10⁹)
- (2) બ્રહ્માંડમાં જે સ્વરૂપમાં અને જે પ્રમાણમાં દ્રવ્યમાન જણાય છે તે કેવી રીતે અસ્તિત્વમાં આવ્યું ? ભારપૂર્વક કહેવું જોઈએ કે, બ્રહ્માંડના પ્રારંભના લગભગ તુરેંત બાદ પ્રાથમિક તત્ત્વો હાઇડ્રોજન અને હીલીયમ સર્જાયાં, જેમાં અલ્પાંશે ક્યુટેરીયમ-આઈસોટોપ તથા લીથીયમ પણ હતા. બાકીના રાસાયણિક તત્ત્વો તારાઓના ગર્ભ ભાગમાં H અને He થી શરૂ કરીને નાભિકીય સંશોષણા (synthesis) દ્વારા ઉદ્ભવ્યાં છે. H અને He ઉપરાંતના ભારે તત્ત્વો, સૂર્ય જેવા પાછલી પેઢીના તારાઓમાં આશરે 2% જેટલા જ પ્રમાણમાં જોવા મળે છે. છેટલાં લગભગ 13.6 અબજ વર્ષોથી તારાઓના ગર્ભમાં હાઇડ્રોજનની હીલીયમમાં ઢ્રાપાંતર (Nuclear fusion)ની પ્રક્રિયા ધીમી ગતિએ ચાલી રહી છે. કેટલાક ભારે દળદાર તારાઓમાં તે ઢ્રાપાંતર 'ભારે' તત્ત્વો સુધી પણ આગળ ધ્યે છે. જો કે 'રાસાયણિક સંવર્ધન'ની આ કિયા ધીમી હોવાથી લાંબા સમયગાળા દરમ્યાન H અને He ના સાપેક્ષ પ્રમાણમાં બહુ મોટો ફેર પડ્યો નથી. પણ મજાની વાત છે કે અવગાણી શકાય તેટલા પ્રમાણમાં જણાતાં આ ભારે તત્ત્વોનું સંવર્ધન આપણા અસ્તિત્વ માટે જવાબદાર છે. આ લેખમાં આપણે એ ચર્ચાવું છે કે, પૃથ્વી ગ્રહ, કે જેનું રાસાયણિક બંધારણ બ્રહ્માંડભરની સરખામણીમાં સાવ અલગ પડે છે તે અસ્તિત્વમાં શી રીતે આવ્યો ! આપણા 'બાધ્ય ગ્રહો' ગુરુ, શાનિ, ચુરેનસ અને નેપચયુન બંધારણમાં વ્યાપકપણે બ્રહ્માંડ અને સૂર્ય સાથે સમાનતા દર્શાવે છે, જ્યારે મંગળ, પૃથ્વી, શુક અને બુધ એ મુખ્યત્વે ખડકાળ તત્ત્વોના બનેલા છે.

શી રીતે ઉદ્ભવ થયો આપણી પૃથ્વીનો, તેમજ આપણી ગ્રહમાળાનો ?! આ અંગેના આધુનિક ખ્યાલો 20મી સદીના અંતભાગે બંધાયા; તે પૂર્વે બે પ્રકારની વિચારધારાઓ વહેતી થઈ હતી. (1) લાપ્લાસના મતે, જે ધૂમતાં સૌરવાદળમાંથી સૂર્ય ઉદ્ભવ્યો, તેમાંથી કેન્દ્રત્યાગી બળને લીધે વલચાકારે પદાર્થો બહાર ફેંકાયા, જેમાંથી ગ્રહો સર્જાયા. (2) સૂર્ય પૂર્વેની નિહારિકા (Nebula)માંથી નીકળીને દ્રવ્યના જથ્થાઓની જમાવટ-ગાંઠ (accretion) થયેલ હશે. તો ખગોળશાસ્કીઓ ચેમ્બરલેઈન અને મોલ્ટન તેમજ જેફેર અને જુન્સના મતે આપણા સૂર્યની નજીક કોઈ અન્ય તારો આવી પડ્યો, જેના ગુરુત્વાકર્ષણને લીધે સૂર્યમાંથી નીકળી પડેલાં વાદળમાંથી કમશા: ગ્રહો બન્યા હશે. અતે મુખ્ય પ્રશ્ન એ છે કે કોઈ તારાની આસપાસ ગ્રહમાળાની રચના એ તારાની રચના સાથે સંકળાયેલ એક સર્વસામાન્ય એક પાસું છે, કે પછી જવલેજ બનતો બ્રહ્માંડભરનો એકલ દોકલ અકસ્માત છે ?!

આ સવાલનો હલ આવી ગયેલો જણાય છે, કેમ કે હવે તો સેંકડોની સંખ્યામાં ગ્રહમાળાઓને શોધી કાઢવામાં આવેલ છે. તેમ છતાં પૃથ્વીની માફક જીવન ધારણ કરતો કોઈ ગ્રહ ભાગ્યે જ છો તેમ લાગે. આપણે અનન્ય હીએ કે કેમ ?! તે હજુ જાણમાં નથી. જો કે આપણી સૂર્યમાળાની અંદર સંકુલ અને સુવિકસિત જીવન ધરાવતો એકમાત્ર ગ્રહ છે પૃથ્વી, જેની ઉત્કાંતિનો ઇતિહાસ અદ્ભૂત અને રસપ્રદ છે.

ગ્રહોની રચના

આજે હવે સંખ્યાબંધ સૌરોતાર ગ્રહો (exo-planets) શોધાયા બાદ, એ સ્પષ્ટ થયું છે કે ગ્રહમાળાની રચના એ ખુદ તારાની રચનાનું એક અભિનન અંગ છે. કોઈ આંતર-તારકીય અણુ-વાદળ (interstellar molecular cloud) સંકોચાતાં ડેન્ડ્રબાગે તારો બને છે, જ્યારે શેષ દ્રવ્ય કે જે ચક સ્વરૂપે ઘૂમતું હોય છે, તે જમા થતાં થતાં ગ્રહો રચાય છે. આપણી સૂર્યમાળાની બાબતમાં ગ્રહો બંધાચાનો વિસ્તાર સૂર્યથી લગભગ 50 ખગોળીય અંતર (Astronomical Unit, AU) સુધી વિસ્તરે છે. ગ્રહો રચાચાના અંદરના વિસ્તારમાં હાઇડ્રોજન, હીલીયમ તથા મીથેન, એમોનીયાના બરફ સ્વરૂપો તારાની ગરમીના કારણે બાધ્ય બની વેરાઈ જાય; અને બાકી રહી જાચ-સીલીકેટ પ્રકારનું દ્રવ્ય. આમ અલ્પ પ્રમાણના આ દ્રવ્યોમાંથી ‘અંદર’ના ચાર ખડકાળ terrestrial ટચ્યુકડા ગ્રહો બુધ, શુક્ર, પૃથ્વી અને મંગળ બનવા પામ્યા. તેની સાપેક્ષે દૂરના વિસ્તારમાં તારાની ગરમી પૂરતી ન હોતાં ઉપરોક્ત બાધ્યપશીલ દ્રવ્યોમાંથી વિરાટ ગ્રહો ગુરુ, શનિ, ચુરેનસ અને નેપ્ચ્યુન બન્યા. અતે આપણે તે ચાર ગ્રહોનો ‘બહાર’ના ગ્રહો તરીકે જ્યારે બુધ, શુક્ર, પૃથ્વી અને મંગળનો ‘અંદર’ના ગ્રહો તરીકે ઉલ્લેખ કરશું.

આદિ-સૌર નિહારિકા (proto-solar nebula)નું આંતરિક પતન (collapse) શરૂ થતાં જ નજીકના વિસ્તારમાં ખડકાળ કણો જમાવાનું ગઠન (accretion) શરૂ થયું. ખગોળીય દદ્ધિએ સાવ ટૂંકા ગણાચ એવા દસેક હજાર વર્ષના ગાળામાં તો મહાકાચ બનેલા ખડકો (boulders) સૂર્યની આજુબાજુ ઘૂમવા લાગ્યા. આ ખડકો મોટી સંખ્યામાં સૂર્યની આજુબાજુ અતિશાય-દીર્ઘવૃત્તિય કક્ષામાં ફરતાં ફરતાં આપસમાં અથડાતા પણ હોય જ. તેમાંના જે પદાર્થોનો સાપેક્ષ વેગ વધુ હોય તે પરસ્પર જોડાઈને એક મોટો પદાર્થ બને. આમ કરતાં કેટલાક વિશાળકાચ ગ્રહ-સમા (planetesimals) પદાર્થો બનીને લગભગ વર્તુણાકારે ઘૂમતા થયા. હવે આ તબક્કે પૃથ્વીની કથા એક જબ્બર વળાંક લે છે ! બન્યું એવું કે તે અરસામાં લગભગ સરખા એવા બે ગ્રહ-સમા પદાર્થો લગભગ એક જ કક્ષામાં ઘૂમી રહ્યા હતા.... પછી તો પૂછવું જ શું ?! તે બન્ને અથડાતાચા...! આ અથડામણા, ઉપર જેને આપણે ખડકાળ કણોની જમાવટ-ગઠન (accretion) કહેલ છે, તેના આશરે 5 કરોડ વર્ષ (50 million years, My)માં થયેલ જેને પરિણામે પૃથ્વીમાંથી ચંદ્રનો જન્મ થયો. આદિ પૃથ્વીની જેની સાથે અથડામણ થયેલ તેને 'Theia' (the mother of the moon goddess in Greek mythology) નામ આપવામાં આવેલ છે. આવી કોઈ ઘટનાઓને પરિણામે પૃથ્વીની ભ્રમણાક્ષનું નમન (axial tilt) પણ થવા પામ્યું હો. પૃથ્વીની સરખામણીએ મંગળના બે ઉપગ્રહો એ ટચ્યુકડા, ગોળાકાર નહીં તેવા, પદાર્થો છે. અને તે કોઈ લધુગ્રહો મંગળના ગુરુત્વાકર્ષણામાં ઝડપાઈ જવાથી બન્યા હો તેમ લાગે છે. દોસ્તો, નવી જન્મેલી પૃથ્વીની ચોપાસ એક અતિ પ્રતિકૂળ પરિસ્થિતિ હતી. તેમાં જીવન તો ક્યાંથી સંભવે ?! સૂર્યમાળાના કેટલાક મંગારની જેમ વધેલા જે પદાર્થો ગઠન- accretion પામ્યા નહોતા તેનો ભારે મારો પૃથ્વી પર થઈ રહ્યો હતો. પૃથ્વી જેવા ગ્રહોને પોતાની કક્ષામાં આવતા રહેતા આ પદાર્થોથી છુટકારો મેળવવામાં બીજાં એક અબજ જેટલો સમય લાગ્યો. ત્યારબાદ પણ ચાને કે આજથી 3.8 અબજ વર્ષ પહેલાં એક પ્રકારના ભારે ‘બોંબમારા’નો સીલસીલો (late heavy bombardment period) આવ્યો હોવાના પૂરાવા મળે છે. વળી બાછાવકાશમાંથી પૃથ્વી પર ઘસી આવતા તે પદાર્થોમાંના ઘણા તો બહારના ગ્રહોના વિસ્તારમાંથી આવતા હોવાથી બરફ સ્વરૂપે પાણી પણ સાથે લાવતા હતા. માનવામાં આવે છે કે આ રીતે પૃથ્વીને મોટા જથ્થામાં પાણી મળ્યું હતું. નિર્દેશો એવા પણ સાંપદે છે કે ખૂબ પ્રારંભમાં, આજથી 4.4 અબજ (4.4 By) વર્ષ પૂર્વે પણ ઘરતી ઉપર પ્રારંભિક મહાસાગરો તો બની ચૂક્યા હતા. એનો પુરાવો આપનાર પદાર્થો છે 'Zircon' ($ZrSiO_4$), એક પ્રાચીનતમ ખનીજ પદાર્થ કે જેનું સ્ફિટિક બંધારણ સુચવે છે કે તે પાણીનાં સંસર્ગથી બનેલ હો.

પૃથ્વી ગ્રહનો વિકાસ

આપણી પૃથ્વી પર કોઈ રીતે જીવન પ્રગટ્યું અને પાંગર્યું એ એક અનોખી ઘટના ગણાચ. પૃથ્વી પર જીવન હોવાનો સૌથી જૂનો પુરાવો stromatolites ખડકો ઢારા મળે છે કે જે lichens નામના જીવ ઢારા પાણીમાં રચાયેલ હતા. સજીવનું પાણીમાંથી ભૂમિ પર આવવાનું તો તે પછી ઘણા વખતે બન્યું. મજાની વાત નોંધીએ કે પાંગરતા સજીવોએ પૃથ્વી પરના વાતાવરણની ઉત્કાંતિમાં ચાવીઝુપ ભાગ ભજવ્યો, તેના સકારાત્મક જવાબમાં, એ વાતાવરણ પણ તે જીવન ટકાવવામાં ચાવીઝુપ ભાગ ભજવવા લાગ્યું ! જીવન ટકાવવા અને વધારવાની કોઈ પ્રભળ ઈચ્છાશક્તિએ કરીને જૈવાવરણ (biosphere) અને વાતાવરણ (atmosphere) પરસ્પરનાં પૂરક અને સહાયક બની રહ્યાં. આ દદ્ધિબિંદુ હવે વધુને વધુ સ્વીકૃત બનતું જાય છે વળી તેને આપણા પ્રાચીન સાહિત્યમાં વારંવાર ઉજાગર કરવામાં આવેલ છે. પરસ્પર સહકારનો એક જ દાખલો આપીએ તો પૃથ્વીની રચના સમયની તુલનાએ સૂર્યની દીસિતીપ્રતા (luminocity) અત્યારે લગભગ 30% વધુ છે તેમ છતાં પૃથ્વી પરનું સરેરાશ તાપમાન લગભગ એવું રહ્યું છે કે અહીં પાણી મુખ્યત્વે પ્રવાહી સ્વરૂપે હસ્તી ઘરાવે છે.... છે ને કેવી માફકસરની પરિસ્થિતિ !?

મિત્રો, પૃથ્વીની પ્રગતિનો વધુ ચિતાર મેળવવા માટે આપણે ભૂસ્તરશાસ્ત્ર (Geology) અથવા ભૂવિજ્ઞાન (Geoscience)ના જ્યાલોનો પરિચય કેળવીએ. પૃથ્વીના ખડકોમાં ચુરેનિયમ (U) અને થોરિયમ (Th)ના રેડીયો-સાંક્ષેપ પરંતુ લાંબો જીવનકાળ ધરાવતા સમસ્થાનિકો રહેલ છે. મૂળભૂત રીતે તો આ તત્ત્વો તેમજ ટ્રૂક જીવનકાળવાળા અન્ય રેડીયો-સાંક્ષેપ પદાર્થોની નીપજો આપણાને પેલી આંતરિક-સૌર નિછારિકામાંથી વારસારુપે મળેલ છે. ધરતીના પેટાળમાંથી નીકળતો એ ધીમો ધીમો કિરણોત્સર્જ પૃથ્વીને આંતરિક રીતે ઉંઘાનો સ્નોટ પુરો પાડે છે. આપણી ધરતી અંદરથી ધગધગે છે, જેને કારણે પૃથ્વીના પોપડાની ર્થના કાળજે બદલતી રહી છે. આ તબક્કે પૃથ્વીની આંતરિક ર્થનાનો સામાન્ય જ્યાલ મેળવીએ તો ધરતીના જે નક્કર ભાગ પર આપણે રહીએ છીએ તેને મૂદાવરણ (lithosphere) કહે છે, તેની નીચેના એક સ્થિર દ્રવ્યને ashensphere કહે છે. ત્યારબાદ ઉકાઈના કમમાં upper-mantle, lower-mantle, outer-core અને કેન્દ્રભાગે inner-core આવેલ છે. સોએક વર્ષ પૂર્વે Alfred Wegener (મૂળ તો હવામાનશાસ્ત્રી)એ બે અગત્યનાં અવલોકનો કર્યા. (1) પૃથ્વી પરના હાલના જે ખંડો છે તેની સીમાઓ પરસ્પરને મળતી કે બંધબેસતી આવે છે, જાણો કે એક મોટા ટૂકડામાંથી કાપીને વિભાગો કર્યા હોય તેવું લાગે. પૃથ્વીના નકશા પર દક્ષિણ અમેરિકાનો પૂર્વ કિનારો અને આફ્રિકાનો ખંડનો પદ્ધતિમ કિનારો જોતાં એ બાબત સ્પષ્ટ થાય છે. (2) વધુમાં, દક્ષિણ અમેરિકાના પૂર્વ કિનારા પર અને આફ્રિકાના પદ્ધતિમ કિનારા પર મળી આવતા પ્રાચીન જીવોની અશિઅઓ લગભગ એક સમાન હોય છે, જાણો કે કોઈ કાગે આ બંને ખંડો એક જ ભૂમિ હોય તેમ લાગે. ખંડોના સરકવાની પૂર્વધારણા (continental drift hypothesis) મુજબ વિવિધ ખંડોની હાલની આકાર ર્થના, મૂળભૂત રીતે એક જ મોટા સંંગ ભૂમિખંડના તૂટવાથી બનેલ છે. જુદા પડેલા ભૂમિખંડો કાળજે ધીમે ધીમે સરકીને અલગ પડતા ગયા છે. પ્રક્રિયા એ થાય કે આવું બન્યું કર્ય રીતે; તે અંગેના કેટલાક પૂરાવાઓ તો જાણીતા હતા, પરંતુ બીજા વિશ્વચુદ્ધ પદ્ધીનાં વર્ષોમાં મહાસાગરોની ઉકાઈએ પહોંચીને શોધખોળો શરૂ થઈ, અને એક આશ્ર્યકારક વાત જાણવા મળી. એમ જણાયું કે મહાસાગરોના પેટાળમાં પર્વતમાળાઓ (ridges) તેમજ ઊંડી જીણો (trenches) પણ આવેલ હોય છે. Ridges માંથી અંદરના mantle વિસ્તારનું દ્રવ્ય બહાર આવે છે અને trenchesમાંથી ફરી અંદર ઉત્તરી જાય છે. ખંડોના વિસ્તારણની પ્રક્રિયા કંઈક અહીંથી શરૂ થાય છે. આ રીતે ભૂમિશિલાઓ (plates)ના પરિવર્તનની 'plate tectonic theory' અસ્તિત્વમાં આવેલ છે. આ સિઝાંત દ્વારા ખંડો વિષેની અતિ મહત્વની ભૂભૌતિક (geophysical) પ્રક્રિયાની સમજુતી મળે છે. આ પ્રક્રિયા એ પૃથ્વી ગ્રહની વિશેષતા છે. માનવામાં આવે છે કે છેલ્લા ભારે 'બોભભારા' (late heavy bombardment) ના ગાળા પછી પૃથ્વીનો પોપડો ટૂટીને કેટલીક ભૂશિલાઓ બનેલ હશે કે જે સ્થિર દ્રવ્ય પર સરકવા માંડેલ હશે. તેની ગતિ માટેનું જરૂરી પરિબળ હતું પૃથ્વીની આંતરિક ગરમી. ભારતીય ઉપખંડ જેમાંથી બન્યો તે Gondwana plate એ Eurasian plate ની નીચે સરકતી રહી છે. તેને પરિણામે હિમાલયની પર્વતમાળાઓ ર્થયાયેલ છે. શરૂઆતમાં તો તે બંને વચ્ચે ટીથિસ (Tethys) નામનો સમુદ્ર હતો, જે ગાયબ થથો અને આશરે ચાર કે પાંચ કરોડ (40-50 My) વર્ષો પૂર્વે હિમાલયની પર્વતમાળાની ર્થના થઈ. આને કારણે આજે પણ તે વિસ્તાર ભૂકુંપગ્રસ્ત અને સંયોદી બની રહેલ છે. કંઈક આવા જ કારણોસર અમેરિકાનો કેલીઝોનીયા વિસ્તાર પણ ભૂકુંપની શક્યતાવાળો વિસ્તાર ગણાય છે.

એ ખાસ નોંધવું જોઈએ કે મોટાભાગના ખડકાળ ગ્રહોની માફક પૃથ્વી પણ એક 'ભિન્નતા પામેલ પિંડ' (differentiated body) છે; યાને કે લોખંડ અને નીકલ જેવા ભારે તત્ત્વો પૃથ્વીના ગોળાના ગર્ભભાગમાં પહોંચી ગયેલ છે. અને સીલિકેટ જેવા હલકા પદાર્થો ઉપરના ભાગે આવેલ છે. પૃથ્વીના ગોળાનો છેક અંદરનો લગભગ 1200 ડિ.મી. જાડાઈનો વિસ્તાર કે જે Fe અને Ni નો બનેલ છે તે ચોપાસના ભારે દબાણાને કારણે ધન અવસ્થામાં હોય છે. તેની ઉપરનો આશરે 1200 ડિ.મી.નો કંપચ જેવો વિસ્તાર પ્રવાહી છે, તેમજ વિદ્યુતનો વાહક છે. અહીં પૃથ્વીના ભ્રમણાને કારણે વિદ્યુતપ્રવાહો પેદા થાય છે. અને તેને કારણે ઉત્પન્ન થાય છે, પૃથ્વીનું ચુંબકત્વ ! વિદ્યુત ડાયનેમો જેવા આ વિસ્તારની ઉપર ધન સિલિકેટનું બનેલ mantle રહેલ છે. પરંતુ તેનો ઉપલો ભાગ સ્થિર પ્રવાહી કે તરલ જેવો છે. Asthenosphere નામના આ સ્થિર તરલ પર ખંડશિલાઓ તરતી રહે છે. આ પ્રક્રિયા કેટલાક My ના ગાળે ભૌગોલિક ફેરફારોનું કારણ બને છે. એટલું જ નહીં પણ પૃથ્વી પરની આબોહવા (જલવાયુ, climate)ને પણ અસર કરે છે. દા.ત. આશરે 5 કરોડ વર્ષ (50 My) પૂર્વે હિમાલયની પર્વતમાળા બહાર આવતાં તિબેટનો પ્રદેશ વર્ષા-વિનિન બન્યો છે. આ સંદર્ભે બીજુ એક વાત પણ જણાવીએ કે, ખંડીય શિલાઓ તૂટવા અને ફરી જોડાવાની કંઈક આવતી જણાતી પ્રક્રિયા 500 Myના આવર્તકાળથી થતી જેવા મળે છે.

દોસ્તો, પૃથ્વી ગ્રહને એક ગતિશીલ ભૌતિક પ્રણાલિ કે તંત્ર (dynamic physical system) ગણીએ તો તે ચાર મુખ્ય ઉપતંત્રો (sub-systems) ધરાયે છે. એ ઉપતંત્રો છે, જૈવાવરણ-સજીવ સૃષ્ટિ (biosphere), જલાવરણ-પાણીનો વિસ્તાર (hydrosphere), વાતાવરણ-હવા (atmosphere) અને જેના પર આપણે રહીએ છીએ તે ભૂ-આવરણ (geosphere). આ તમામ ઉપતંત્રોમાં અદ્ભૂત તાલમેળથી સંસર્જિક્યા (interaction) ચાલતી રહે છે. તે પૈકી ભૂ-આવરણ કે ભૂખંડોની પ્રાગૈતિહાસિક વિગતો આપણે મેળવી. હવે વાત આવે છે વાતાવરણની.

વातावरण-प्राणवाचुनो ઉદ્ભવ

પृथ्वी પરનું હાલનું 21% જેટલા પ્રાણવાચુ કે ઓક્સિજન સહિતનું વાતાવરણ એ વૃક્ષો દ્વારા થતી ઓક્સિજનયુક્ત પ્રકાશ સંશોધણા (oxygenic photosynthesis)ને કારણે છે. પृથ્વીનું પ્રારંભિક વાતાવરણાં H અને He જેવા હલકા વાયુઓ ટકયા નહીં હોય કેમ કે, ઓછાં દળ અને સાથોસાથ સૂર્યથી નિકટાને કારણે ખડકાળ ગ્રહે-પૃથ્વી અને અન્ય ત્રણા-તે વાયુઓને જાળવી શકેલ નહીં હોય. વળી સૂર્યની પોતાની 'T Tauro' અવસ્થામાં વિકિરણ તેમજ સૌર પવનનાં વધુ પ્રમાણને લીધે પણ હલકા વાયુઓ બહાર ફેંકાઈ જવા પામ્યા હો. આમ પૃથ્વી (અને ખડકાળ ગ્રહે)માં જે પ્રારંભિક વાતાવરણ બન્યું તે બે બાબતોનું પરિણામ હો; (1) ગ્રહના અંદરના ભાગેથી બહાર નીકળતા વાયુઓ જેમાં મુખ્ય હતો CO_2 , અને (2) બારે 'બોમ્બમારા' દ્વારા નાના પદાર્થો કે ગ્રહ-સમા પિંડો દ્વારા આકાશમાંથી લાવવામાં આવેલ બાધ્યકીય પદાર્થો, જેમાં મુખ્યત્વે હતું પાણી અને સાથે હતા બરફ સ્વરૂપે એમોનિયા અને મિથેન.

આજે આપણાં (શુષ્ક કે જલવિહિન) વાતાવરણમાં લગભગ 21% O_2 છે, 78% N_2 છે જ્યારે બાકીનું પ્રમાણ લગભગ નિષ્ઠિય વાચુ Ar નું છે. બાકી રહેલો અલ્પપ્રમાણાનો થાને કે 0.037% જેટલો CO_2 વાચુ તેની હરિતગૃહ અસર green house effectને કારણે આપણા જલવાચુને માટે ઉપાધીનું કારણ બનેલ છે. વાતાવરણમાં પાણીની વરણનું પ્રમાણ બદલતું રહે છે, અને તે મુખ્યત્વે નીચલા સ્તરમાં થાને કે troposphere વિભાગમાં રહેલ હોય છે. મંગળ પરનું વાતાવરણ પૃથ્વીની સરખામણીએ અત્યંત ઓછા દબાણો મુખ્યત્વે CO_2 વાચુ ધરાયે છે. શુકના ગાઢ CO_2 યુક્ત વાતાવરણની તો વાત જ ન્યારી છે, અને તેમાં આપણે અત્યારે નહીં પડીએ. ટૂંકમાં, પૃથ્વી પર જે અપવાદરૂપ અન્ય વાતાવરણ ર્યાયું છે, તે આભારી છે ઓક્સિજનયુક્ત પ્રકાશ-સંશોધણાને, કે જેમાં વૃક્ષો દ્વારા પાણીની મદદથી (સૂર્યપ્રકાશની હાજરીમાં) વાતાવરણના CO_2 વાયુનું સ્થાપન થાય છે, અને હવામાં O_2 મુક્ત થાય છે.

કચારે અને શી રીતે શરૂ થઈ આ પ્રક્રિયા... ?! આવો સમજુએ. સૌપ્રથમ તો કહેલું જોઈએ કે, સૌથી શરૂઆતનું જીવસ્વરૂપ ઉર્જા મેળવવા માટે ધર્યુંખરું તો પ્રકાશસંશોધણા પર આધારિત નહોતું. અગાઉ જેનો ઉલ્લેખ કરેલ છે, તે સાગર-પેટાળની પર્વતમાળાઓ (ridges)માંથી ગરમાગરમ દ્વારા સ્વરૂપે સલ્ફાઈડના ખનીજો બહાર નીકળે છે. તે જગ્યાઓએ ભારે તાપમાન હેઠળ પણ લાંબા કીડા જેવા સજ્જવો હોવાનું જણાય છે. આ સજ્જવો પ્રકાશસંશોધણા પર નભતા નથી. અને તે પોતાની ઉર્જા સલ્ફાઈડ ખનીજો પર આધારિત બેક્ટેરિયા દ્વારા મેળવે છે. એક મત એવો પણ છે કે આદિ સ્વરૂપનો જીવ કદાચ ત્યાં પ્રગટ્યો હો. ધરતી પર જીવની ઉત્પત્તિનો સવાલ ધણો ગૂઢ છે અને તે હજુ ઉકેલાથો નથી. (Panspermia તરીકે ઓળખાતી એક ધારણા મુજબ જીવની ઉત્પત્તિનું મૂળ બાધ્યવકાશમાં રહેલું છે.)

મિત્રો, પૃથ્વીની કથામાં હવે આવે છે. એક મોટો નાટ્યાત્મક વળાંક !!

આજથી અંદાજે 2.8 અબજ વર્ષ (By) પહેલાં સમુક્રમાં કચાંક સાચનો-બેક્ટેરિયા (cyanobacteria) નામના સુશ્રમ જીવ દ્વારા કંઈક રહસ્યમય રીતે O_2 મુક્ત કરતી પ્રકાશસંશોધણા કિયા શરૂ થઈ. આ એક ખૂબ જ કાંતિકારી ઘટનાક્રમથી ન કેવળ પૃથ્વીનું વાતાવરણ બદલાયું, પણ સાથોસાથ સજ્જવ ઉત્કાંતિની ગતિવિદ્યામાં પણ જબ્બર ફેરફાર આવ્યો. પૃથ્વીના પ્રારંભથી આજ સુધીના સમયગાળાની અધિવચ્ચે બનેલ આ મહત્વપૂર્ણ ઘટનાએ સંકુલ જીવસ્વરૂપને વિકસણાનો માર્ગ મોકળો કરી આપ્યો. પૃથ્વીના વાતાવરણની એ કમશા: O_2 -કરણ અંગેના ભૂસ્તરશાસ્ત્રીય પુરાવાઓ પણ મળે છે. દરીયામાં અને નદીકિનારે મળતા કેટલાક ખડકોમાં અદ્રાવ્ય સ્વરૂપે ferric પ્રકારનું લોખંડ રહેલ હોય છે જે દ્રાવ્ય સ્વરૂપના ferrousના ઓક્સિડેશન દ્વારા બનેલ હોય છે. અદ્રાવ્ય ferric લોખંડ-સંયોજન એ આજે લોખંડનું અગત્યનું ખનીજ છે.

ઉપરોક્ત પ્રકાશસંશોધણા કિયા અને વાતાવરણના O_2 -કરણની સાથોસાથ પ્રાગૈતિહાસિક પૃથ્વી પર એક ચુગનો અંત આવ્યો અને નવો ચુગ શરૂ થયો. આશરે 2.5 અબજ વર્ષ (By) પૂર્વે શરૂ થયેલ સમયગાળા અથવા તો 'કલ્પ'ને પ્રોટોરોક્રોઇક કલ્પ (Proterozoic Eon) કહે છે. આ સમય-કલ્પ દરમાન હવામાં ઓક્સિજનનું પ્રમાણ શરૂઆતના લગભગ 1%થી શરૂ કરીને હાલના સ્તર (21%) પર પહોંચ્યું. ભૂસ્તરશાસ્ત્રીય ઇતિહાસમાં હાલનો કલ્પ (Eon)એ 'Phenerozoic Eon'-જોઈ શકાય તેવી જીવસૃદ્ધિનો સમય-કહેવાય છે. આ સમય-કલ્પમાં જીવ એ પ્રાણીઓ સ્વરૂપે દરિયામાંથી ધરતી પર આવ્યો. પ્રાણીઓમાં ચચાપચ્ચયનું મોટું પ્રમાણ (જેમાં મગજશક્તિનો ઉપયોગ પણ સામેલ હોય) એ આ સજ્જવોની વિશેષતા હતી. તેને માટે મોટા પ્રમાણમાં ઓક્સિજન વાયુની (જારક શ્વસનરૂપે) જરૂર પડવા લાગી. જરા વિચારીએ કે આજનું સુવિકસિત અતિઉત્કાંત જીવન કોને આભારી છે...?! પેલાં તુચ્છ જીવ સાચનોબેક્ટીરીયા ને....!

વરચે એક આડવાત કરી લઈએ, અગાઉ કહ્યું તેમ પૃથ્વીની રચનાના પ્રારંભે સૂર્યનું તેજ હાલની સરખામણીમાં 30% જેટલું ઓછું હતું. તેમ છતાં પ્રારંભિક વાતાવરણનું તાપમાન તો પાણીનું પ્રવાહી સ્વરૂપ જાળવી રાખે તે પ્રકારનું હતું. આ શી રીતે બન્યું હશે, તે એક કોયડે કે વિરોધાભાસ છે, જેને faint Sun paradox કહે છે. તેની સમજૂતી એ રીતે આપવામાં આવે છે કે, તે સમયે ઓક્સિજન નહોતો પરંતુ મિથેન (CH_4) વાયુ હતો. તેની (CO_2 કરતાં પણ) પ્રબળ હરિતગૃહ અસરને કારણે તે સમયે પૃથ્વી પર હુંકારું વાતાવરણ રહી શક્યું હશે.

વાતાવરણના O_2 -કરણની વાત પર પાછા આવીએ તો તે ફાયદાકારક તો હતું જ, પણ તેમાંથી એક મોટો પડકાર ઉભો પણ થયો. O_2 ની મિથેન સાથેની પ્રક્રિયાને લીધે હવામાં મિથેનનું પ્રમાણ ઘટવા લાગ્યું, તેની હરિતગૃહ અસર નબળી પડી અને ધીમે ધીમે કરતાં ઘરતી પર એક હિમયુગ (Ice Age) આવી પડ્યો....! તે એટલે સુધી કે Proterozoic Eonની શરૂઆતમાં પૃથ્વી લગભગ દ્વારા દ્વીપથી દ્વારા સુધી બરફમાં ઢેકાઈ ગઈ. આ સમયગાળાને snow ball earth એવું નામ અપાયેલ છે. આ બાબતના ભૂસ્તરશાસ્ત્રીય પુરાવાઓ પૃથ્વી પરના જુદા જુદા વિસ્તારોમાંથી મળી આવેલ છે. અતે એ પણ જણાવીએ કે જુદા જુદા ભૂસ્તરશાસ્ત્રીય ચુગ (Geological epochs)ના નામો, જે તે વિસ્તારોમાંથી સૌપ્રથમ મળી આવેલ ખડકો કે અવશોષો પરથી પાડવામાં આવેલ છે. હિમયુગ છવાતાં જ ઘરતી પર, જેને “પડ્યા પર પાડું” કહેવાય તેવી પરિસ્થિતિ થવા પામી. એક વાર બરફનું આવરણ છવાઈ જાય એટલે તે પરથી મોટા ભાગના સૂર્યપ્રકાશનું પરાવર્તન થવા લાગે. આ સંજોગોમાં વાતાવરણ ફરી હુંકારું શી રીતે થયું હશે?! આ એક બહુચર્ચિત સમસ્યા છે. અતે બે બાબતોના નિર્દેશ કરી શકાય. તે સંજોગોમાં વરસાદનું પ્રમાણ ઘટતાં ખડકોનું ધોવાણ ઘટ્યું અને તે દ્વારા કાર્બન ડાયોક્સાઇડનું કાર્બોનેટમાં ઝપાંતર પણ ઘટ્યું. તે કારણસર, જવાળામુખીઓમાંથી નીકળતા CO_2 નું હવામાં પ્રમાણ દીરે દીરે વધવા લાગ્યું. તો બીજી બાબત એ કે, Plate Tectonic પ્રક્રિયાઓના વધવાથી જવાળામુખીમાંથી ઉત્સર્જનનું પ્રમાણ પણ વધ્યું. ટૂંકમાં કહીએ તો, આપણા સૌના સદ્ભાગ્યે, હિમાચાદિત પૃથ્વી પર કોઈને કોઈ રીતે હરિતગૃહ અસર ફરીથી શરૂ થઈ અને નવી આશાનો સંચાર થયો. આ સમગ્ર ચર્ચામાં, બાહ્યાવકાશમાંથી આવતાં વૈશ્વિક કિરણો (cosmic rays), પૃથ્વીના જલવાયુમાં શું ભાગ ભજ્યે છે તેનો કોઈ ઉલ્લેખ આપણે કર્યો નથી.

ઉપરોક્ત હિમયુગમાંથી બહાર આવ્યા પણીનો લગભગ એકાદ અબજ વર્ષનો ગાળો ધણુંખરું તો સ્થિરતાનો સમય હતો, અને તેને કંટાળાજનક- boring billion-કહેવામાં આવે છે. જો કે એટલું ખરું કે, ખાસ કશી ઉથલપાથલ વગરના આ ગાળામાં બહુકોષીય જીવો algae, fungi ઇત્યાદિનો ઉદ્ભબ થયો. તાજેતરમાં એવું પણ જણાયું છે કે, સ્થિરતાભર્યા આ સમયગાળામાં વૈશ્વિક કિરણો (cosmic rays)નું પ્રમાણ કંઈક અંશો ઓછું રહ્યું હતું. પૃથ્વીના જલવાયુ પર અવકાશમાંથી આવતાં વૈશ્વિક કિરણોની શી અસર હોઈ શકે એ જુદી ચર્ચાનો વિષય છે. ત્યાર પણીની વાતો ટૂંકમાં જણાવીએ તો પૃથ્વી ઉપર બીજા ત્રણથી ચાર હિમયુગો આવી ગયા, જેમાંનો એકાદ તો ખૂલ ભારે પડી જાય તેવો હતો. પરંતુ સદ્ભાગ્યે ‘આપણે’ તેમાંથી હેમખેમ બહાર આવી ગયા...!!

સમાપન

વાચક મિત્રો, અહીં સુધીના વર્ણનમાં આપણે પૃથ્વીના જન્મથી માંડીને પ્રથમ ચાર અબજ વર્ષ સુધી આવી પહોંચ્યા. દુંકું પુનરાવર્તન કરીએ તો સૌરમાળાનો જન્મ કે પ્રારંભ 4.56 અબજ વર્ષ (By) પૂર્વે થયો ગણાય. ત્યારબાદના ટૂંકા ગાળામાં ગઠન (accretion) પ્રક્રિયાને અંતે, યાને કે આજથી આશરે 4.54 અબજ વર્ષ પહેલાં પૃથ્વીનો ગ્રહ તરીકે ઉદ્ભબ થયો. હજુ તો પૃથ્વી બને ત્યાં તો ‘Theia’ નામનો ગ્રહ-સમ પદાર્થ અથડાયો અને પૃથ્વીને ચંદ્રના સ્વરૂપમાં ઉપગ્રહ કે નાનો સાથીદાર મખ્યો. ચંદ્રની ઊંમર 4.53 By ગણાય. ત્યારબાદ પૃથ્વીએ જથ્થાબંધ નાના મોટા બાહ્ય બોમબારાનો પદાર્થોનો સામનો કર્યો. જો કે તેમાં આપણાને પુષ્કળ પ્રમાણમાં પાણી પણ મળ્યું હતું. જીવની પ્રાથમિક શરૂઆત રોમાંચક હતી, તો પ્રકાશ સંસ્લેષણાનો પ્રારંભ પણ નાટ્યાત્મક હતો. પૃથ્વીના પ્રારંભના પ્રથમ ચાર અબજ વર્ષને પૂર્વ-કેમ્બ્રિયન (pre-cambrian) સમય કહે છે. જ્યારે છેલ્લા 50 કરોડ વર્ષ (500 My)ના ઘટનાઓથી ભરપુર રોમાંચક સમયને ‘કેમ્બ્રિયન’ સમય કહે છે.

આ છેલ્લા ગાળામાં સજ્જવ સૃષ્ટિએ ઉત્કાંતિનું જે રંગબેંગી વૈવિદ્ય દર્શાવ્યું છે તે તો અત્યંત રસપ્રદ છે....પરંતુ..... આટલેથી વિરમીએ....!!!

ભૌતિકશાસ્ત્રના મૂળભૂત અચળાંકો - એક વિહંગાવલોકન

પ્રો. વિરેણ ઓચ. છક્કર
ભૌતિકશાસ્ત્ર વિભાગ
સર પી.ટી. સાર્વજનિક કોલેજ આંફ સાયન્સ, સુરત

બછાંકની રૂચનામાં પાચા પદ્ધત ગણાય તેવા મૂળભૂત ભૌતિક અચળાંકોની એક જલક આ તેમમાં આપવામાં આવી છે.

ભૌતિકશાસ્ત્રમાં આપણે કુદરતમાં અને પ્રયોગશાળામાં થતી ઘટનાઓનો અભ્યાસ કરીએ છીએ. ભૌતિકશાસ્ત્રમાં આપવામાં આવતા સિદ્ધાંતોની પ્રાયોગિક ચકાસણી અનિવાર્ય છે. તે સિવાય તે સિદ્ધાંત સ્વીકાર્ય બનતો નથી. આમ, એવું કહી શકાય કે ભૌતિકશાસ્ત્ર એક પ્રાયોગિક વિજ્ઞાન છે અને તેમાં ભૌતિક રાશિના માપનનું પણ આગવું મહત્વ છે. ભૌતિક રાશિઓને ચોક્કસ એકમોમાં માપવામાં આવે છે. ભૌતિક રાશિના માપન દ્વારા આપણને કુદરતના કેટલાક નિયમો અને સિદ્ધાંતોની સમજ મળે છે, જેના થકી આપણે કુદરતને સમજવાનો પ્રયત્ન કરીએ છીએ. આ રીતે આપણને જે નિયમો પ્રાપ્ત થાય છે, તેમાં કેટલાક એવા અચળો પણ આવે છે જેને ભૌતિકશાસ્ત્રના મૂળભૂત અચળાંકો કહેવામાં આવે છે. આ પૈકી કેટલાક સાર્વત્રિક અચળાંકો જાણીતા છે, જેમ કે “ગુરૂત્વાકર્ષણનો સાર્વત્રિક અચળાંક (G)”. આ સિવાય પણ બીજા ધારા અચળાંકોથી અત્યાર સુધીમાં આપણે પરિચિત થઈ ચૂક્યા છીએ. ભૌતિકશાસ્ત્રમાં તેમનું અનેરૂ મહત્વ પણ છે. ભૌતિકશાસ્ત્રમાં જેવા મળતો સર્વપ્રથમ સાર્વત્રિક અચળાંક G છે. તેથી લેખની શરૂઆત તેનાથી કરીએ.

ગુરૂત્વાકર્ષણનો સાર્વત્રિક અચળાંક (G):

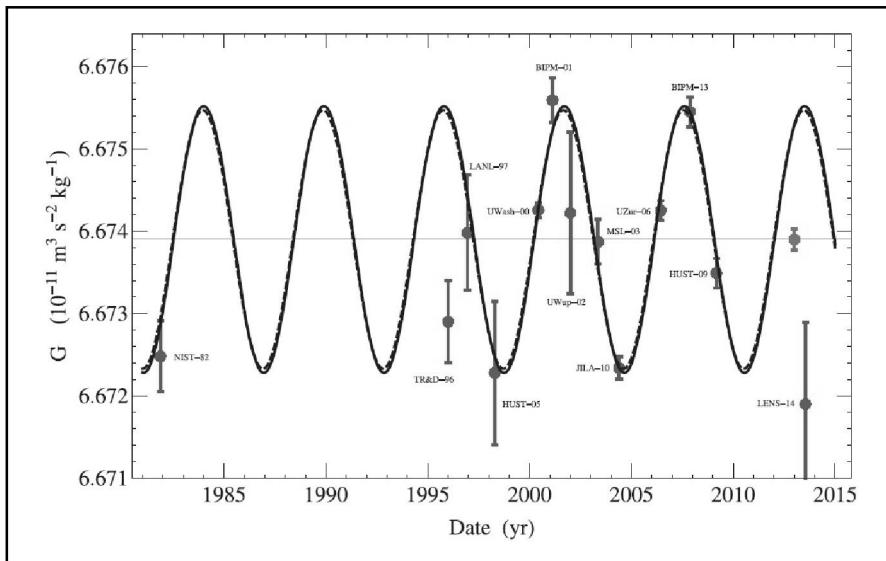
આ અચળાંક અંગ્રેજ ભૌતિકશાસ્ત્રી આઇઝેક ન્યૂટનને આપેલા ગુરૂત્વાકર્ષણના સાર્વત્રિક નિયમ (અને આઇન્સ્ટાઈનના સાપેક્ષવાદ)માં આવતો અચળાંક છે. ન્યૂટનના નિયમ અનુસાર M_1 , અને M_2 દળ ધરાવતા અને એકબીજાથી r અંતરે રહેલા બે પદાર્થો વચ્ચે લાગતા ગુરૂત્વાકર્ષણ બળનું મૂલ્ય છે,

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2} \quad \dots \dots \dots (1)$$

જેમાં G ગુરૂત્વાકર્ષણનો સાર્વત્રિક અચળાંક છે. એકમ દળ ધરાવતા બે પદાર્થોને એકબીજાથી એકમ અંતરે મૂકેલા હોય, ત્યારે તેમની વચ્ચે લાગતા ગુરૂત્વાકર્ષણ બળનું મૂલ્ય આ સાર્વત્રિક અચળાંક જેટલું હોય છે. Gના મૂલ્યનો સૌપ્રથમ અંદાજ હેન્રી કેવન્ડિશ ઇ.સ. 1798માં મેળવ્યો હતો. તેમણે અત્યંત સંવેદનશીલ વળસંતુલન અને સીસાના બળેલા બે ગોળાઓ વડે કરેલા પ્રયોગ પરથી આ મૂલ્ય મેળવ્યું હતું. જો કે કેવન્ડિશ આ પ્રયોગ ગુરૂત્વાકર્ષણના સાર્વત્રિક અચળાંકનું મૂલ્ય શોધવા માટે નહોતો કર્યો. હકીકતમાં તેઓ પાણીની સાપેક્ષમાં પૃથ્વીની ઘનતા માપવાનો પ્રયત્ન કરી રહ્યા હતા અને તે માટે તેઓ ગુરૂત્વાકર્ષણનો ઉપયોગ કરી રહ્યા હતા. તેમણે મેળવેલા ઘનતાના આ મૂલ્યના

આધારે G નું મૂલ્ય તેમને $6.754 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$ મળ્યું હતું. કેવન્ડિશ બાદ ઘણા વૈજ્ઞાનિકોએ જુદી જુદી પદ્ધતિઓનો ઉપયોગ કરી Gનું મૂલ્ય માપવાના પ્રયત્નો કર્યા, જેમ કે બોયસ, હૈયલ વગેરે. Gનું મૂલ્ય માપવાના છેલ્લા ચાર દાયકામાં થયેલા પ્રયોગો પરથી કેલિફોર્નિયા ઇન્સ્ટિટ્યુટ ઔફ ટેકનોલોજીના જહોન એન્ડરસન અને તેમના સાથીઓએ નોંધ્યું કે Gના મૂલ્યમાં 5.9 વર્ષના આવર્તકાળ સાથે સૂક્ષ્મ ફેરફાર થાય છે અને આ ફેરફાર સાઈન તરંગ જેવો હોય છે, જે આકૃતિ (1)માં દર્શાવ્યો છે. તમને કદાચ ખ્યાલ હશે કે દિવસની લંબાઈમાં થતા ફેરફારનો આવર્તકાળ પણ બરાબર 5.9 વર્ષ જ છે. જોકે આ બે બાબતોને કોઈ સીધો સંબંધ છે કે કેમ તે હજુ સુધી સ્પષ્ટ થયું નથી.





આકૃતિ-(1)

ગુરૂત્વાકર્ષણા સાર્વત્રિક અચળાંકનું મૂલ્ય માપવાનું કામ અધ્યરૂપ છે, કારણ કે ચાર મૂળભૂત બળો પૈકી ગુરૂત્વાકર્ષણનું બળ સૌથી નબળું છે. ઉપરાંત, ગુરૂત્વાકર્ષણા સાર્વત્રિક અચળાંકના મૂલ્યના માપન માટે ઉપયોગમાં લેવાતા સાધનને અન્ય પદાર્થોની ગુરૂત્વાકર્ષણ અસરથી મુક્ત રાખી પ્રયોગ કરવાનું કાર્ય લગભગ અશક્ય છે. SI પદ્ધતિમાં તેનું મૂલ્ય $6.67408 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$ છે.

શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ (c):

પ્રકાશના તરંગો એક પ્રકારના વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો છે, જે શૂન્યાવકાશમાં સીમિત ઝડપથી ગતિ કરે છે. શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ માપવાનો સૌપ્રથમ કંઈક અંશો સફળ કરી શકાય એવો પ્રયત્ન રોમર નામના ડેન્માર્કના ખગોળશાસ્ત્રીએ 1680માં કર્યો હતો. તેમણે ગુરુ ગ્રહના ચંદ્ર I0 ની ગતિના અવલોકન પરથી શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપનું મૂલ્ય મેળવ્યું. રોમરે મેળવેલા શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપના મૂલ્ય પરથી ન્યૂટને શોદ્યું કે આટલી ઝડપથી ગતિ કરતા પ્રકાશના કિરણને સૂર્યથી પૃથ્વી સુધી આવતાં સાતથી આઠ મિનિટનો સમય લાગે. રોમરના આ પ્રયોગ પછી હાઇજુન્સે પણ શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ માપવાનો પ્રયત્ન કર્યો. તેમને તે મૂલ્ય આશરે 2.2 લાખ કિમી પ્રતિ સેકેંડ જેટલું મળ્યું, જે તેના વાસ્તવિક મૂલ્ય કરતાં ઓછું છે. ત્યારબાદ ઘણા વૈજ્ઞાનિકોએ શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ માપવાનો પ્રયત્ન કર્યો, જેમ કે જેમ્સ બ્રેડલી, ફિલો, ફોકો, માઇકલસન, કુમ, ઇવાન્સન વગેરે. શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ (c)નું મૂલ્ય મેળવવા માટેનું સૈદ્ધાંતિક સમીકરણ 1864માં સ્કોટીશ બૌતિકશાસ્ત્રી જેમ્સ કલાર્ક મેકસવેલે આપેલા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગવાદમાં મળે છે. આ સમીકરણ નીચે મુજબ છે.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

જ્યાં ϵ_0 = શૂન્યાવકાશની પર્ભિટીવીટી (પરાવૈદ્યુતાંક) અને μ_0 = શૂન્યાવકાશની પર્ચાબિલીટી (પારગાંધતા)

આઈન્સ્ટાઇનના વિશિષ્ટ સાપેક્ષવાદ અનુસાર ક્રવ્ય, વિકિરણ કે અન્ય કોઈપણ માહિતી કે સંકેતની શૂન્યાવકાશમાં મહત્વમાં ઝડપ c જેટલી હોઈ શકે, બધાં જ દળવિહિન કણો તથા બધા જ પ્રકારના ક્ષેત્રો અને તેમાં થતા ફેરફારો પણ મહત્વમાં c જેટલી ઝડપે ગતિ કરી શકે છે. આઈન્સ્ટાઇનના સાપેક્ષવાદ અનુસાર શૂન્યાવકાશમાં ગુરૂત્વાકર્ષણ તરંગોનો વેગ પણ c જેટલો જ હોય છે. શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની સીમિત ઝડપને લીધે કોમ્પ્યુટરની ગાણિતીક કાર્યો કરી શકવાની મહત્વમાં ઝડપ પર પણ મર્યાદા આવી જાય છે.

આધુનિક બૌતિકવિજ્ઞાનમાં પ્રકાશની ઝડપ C નો બહોળો પ્રમાણમાં ઉત્સેખ જોવા મળે છે. C નું મૂલ્ય સમગ્ર અવકાશ-સમય અખંડિતતા (space-time continuum)માં એકસમાન રહે છે. C નું મૂલ્ય પ્રકાશના ઉદ્ગમસ્થાન અથવા આ ઉદ્ગમસ્થાન જે નિર્દેશાત્મકમાં આવેલું છે, તેના પ્રકાર પર આધાર રાખતું નથી. C ના મૂલ્યનો ઉપયોગ કરીને લંબાઈના એકમ મીટરની વ્યાખ્યા આપવામાં આવી છે.

શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશના કિરણો $\frac{1}{c}$ જેટલી સેકંડમાં કાપેલા અંતરને એક મીટર કહેવાચ. SI પદ્ધતિમાં તેનું મૂલ્ય $c = 299792458 \text{ m/s}$ છે.

એવોગેઝ્રોનો અચળાંક (N_A):

ઇટાલીયન વૈજ્ઞાનિક એમીક્રિયો એવોગેઝ્રોએ 1811માં જણાવ્યું કે, આપેલા તાપમાને અને દબાણે સમાન કદ ધરાવતા વાયુઓમાં આવેલા અણુઓ/પરમાણુઓની સંખ્યા સમાન હોય છે, અર્થાત् આપેલા તાપમાને અને દબાણે, જુદા જુદા આદર્શ વાયુઓના કદ સમાન હોય છે. પદાર્થના આપેલા જલ્દીઓ આવેલા કણોની સંખ્યાનો સૌપ્રથમ અંદાજ ઓસ્ટ્રીયાની શાળાના એક શિક્ષક એવા જોસેફ લોસ્ટ્મેટે મેળવ્યો હતો. એક મોલ પદાર્થમાં આવેલા અણુઓ કે પરમાણુઓની સંખ્યા અચળ હોય છે. 1909માં ફેંચ બૌતિકશાસ્ત્રી જુન પેરીને આ અચળાંકને એવોગેઝ્રો અચળાંક નામ આપ્યું. જો કે તે પહેલા પણ રસાયણશાસ્ત્રમાં એવોગેઝ્રો સંખ્યા ઉપયોગમાં લેવાતી હતી, જેની વ્યાખ્યા જુદી હતી. જુન પેરીને પરમાણિય હાઇડ્રોજનના 1 ગ્રામ-દળમાં આવેલા પરમાણુઓની સંખ્યાને એવોગેઝ્રો સંખ્યા તરીકે વ્યાખ્યાચિત કરી હતી. બાદમાં કાર્બનના આઇસોટોપ ^{12}C ના 12 ગ્રામ ક્રદ્યમાં આવેલા પરમાણુઓની સંખ્યાને એવોગેઝ્રો સંખ્યા તરીકે વ્યાખ્યાચિત કરવામાં આવી. કોઈપણ તત્ત્વના એક મોલમાં આવેલા કણોની સંખ્યા એકસમાન હોય છે અને તે એવોગેઝ્રો અચળાંક N_A જેટલી હોય છે. યોગાનુયોગ, મોલ વિચે એવોગેઝ્રોને કશોજ ખ્યાલ નહોંતો. મોલ શર્દ તો તેમના મૃત્યુના ઘણા વર્ષો પદ્ધી ચલણામાં આવ્યો. એવોગેઝ્રો અચળાંકનો ઉપયોગ બોલ્ટ્રક્યુનેનો અચળાંક અને ફેન્ટેનો અચળાંક મેળવવા માટે પણ થાય છે, તે આપણે આગળ ઉપર જોઈશું. એવોગેઝ્રો અચળાંકનું મૂલ્ય અન્ય જાણીતા અચળાંકોની મદદથી મેળવી શકાય છે. SI પદ્ધતિમાં એવોગેઝ્રો અચળાંકનું મૂલ્ય $N_A = 6.022140857 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ છે. રસપ્રદ બાબત એ છે કે તેને નીચે મુજબ પણ દર્શાવી શકાય છે.

$$23! = 23 + \frac{2}{23} \dots \dots \dots (3)$$

એવોગેઝ્રો અચળાંકના માનમાં દર વર્ષે 23 ઓક્ટોબરના રોજ 6:02 am થી 6:02 pm સુધીનો સમય વિજ્ઞાન સમુદ્દરાયમાં મોલ દિવસ તરીકે ઊજવવામાં આવે છે.

શૂન્યાવકાશની પર્મિટીવિટી (ϵ_0):

શૂન્યાવકાશની પર્મિટીવિટી વિદ્યુતક્ષેત્રએખાઓનો પસાર થાયા દેવાની શૂન્યાવકાશની ક્ષમતા દર્શાવે છે. શૂન્યાવકાશમાં રાખેલા વિદ્યુતભારો પણ ઊર્જાનો સંગ્રહ કરે છે, જે દર્શાવે છે કે શૂન્યાવકાશની પર્મિટીવિટી અશૂન્ય હોય છે કારણ કે જો શૂન્યાવકાશની પર્મિટીવિટી શૂન્ય હોય તો શૂન્યાવકાશમાં રાખેલા વિદ્યુતભારો ઊર્જાનો સંગ્રહ કરી શકે નહિં. ઉપરાંત, શૂન્યાવકાશની પર્મિટીવિટી સ્થિતવિદ્યુતના મૂળભૂત નિયમ એવો ગોસનો નિયમ સમજવા માટે પણ જરૂરી છે. વિદ્યુતક્ષેત્ર ડાઇલેક્ટ્રિક માદ્યમને કેવી રીતે અસર કરે છે ને ડાઇલેક્ટ્રિક માદ્યમની ક્ષેત્ર પર શું અસર થાય છે, તે દર્શાવતું માપ માદ્યમની પર્મિટીવિટી છે. માદ્યમમાં તે વિદ્યુત ક્ષેત્ર અને વિદ્યુત સ્થાનાંતરને સાંકળતી કરી સમાન છે. માદ્યમ માટે તેને એકમ વિદ્યુતક્ષેત્ર દીઠ સુવાહુક પરની પૃષ્ઠાનતા, એ રીતે વ્યાખ્યાચિત કરવામાં આવે છે. જે માદ્યમની પર્મિટીવિટી એક કરતાં વધારે હોય, તે માદ્યમના ધૂવીભવનને લીધે તેમાં વધારે ઊર્જાનો સંગ્રહ થાય છે.

શૂન્યાવકાશની પર્મિટીવિટી અને શૂન્યાવકાશની પર્માયલિટી એવા બે અચળાંકો છે, કે જેમના વડે શૂન્યાવકાશના પોતાનું (identity) નિર્માણ થાય છે. શૂન્યાવકાશ એટલે કશું નહીં... કોઈપણ ગુણાધર્મ પણ નહીં- એમ ઘડીભર લાગે, પરંતુ શૂન્યાવકાશની અસ્તિત્વા પ્રગત થાય છે. ϵ_0 અને μ_0 થકી!!!. આ બંને અચળાંકો એ વિદ્યુતભારને એકમને SI પદ્ધતિમાં દર્શાવવા માટે ઉપયોગમાં લેવામાં આવતા અચળાંકો છે. જો વિદ્યુતભારને ગાઉસીયન એકમપદ્ધતિમાં દર્શાવવામાં આવે, તો શૂન્યાવકાશના આ બંને અચળાંકોના મૂલ્ય 1 એકમ લેવામાં આવે છે. SI પદ્ધતિમાં તેનું મૂલ્ય $\epsilon_0 = 8.8541878176 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ છે.

શૂન્યાવકાશની પર્યાલિટી (μ_0):

શૂન્યાવકાશની પર્યાલિટી શૂન્યાવકાશમાં ચુંબકીય ક્ષેત્રને લાગતો અવરોધ દર્શાવે છે. (માદ્યમ માટે તે બાહ્ય ક્ષેત્રની હાજરીમાં માદ્યમની ચુંબકિત થઈ શકવાની ક્ષમતાનું માપ દર્શાવે છે. માદ્યમની ચુંબકીય ફલકસ ઘનતા અને ચુંબકીય તીવ્રતાનો ગુણોત્તર માદ્યમની પર્યાલિટી દર્શાવે છે.) પ્રકાશના તરંગો એક પ્રકારના વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો છે ને શૂન્યાવકાશમાં તેમની ઝડપ સીમિત છે, જે દર્શાવે છે કે શૂન્યાવકાશની પર્યાલિટી અને શૂન્યાવકાશની પર્યાલિટી અશૂન્ય એવા અચળાંકો હોવા જોઈએ, કારણ કે $c = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$ છે.

$$SI \text{ પદ્ધતિમાં તેનું મૂલ્ય } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A} \text{ છે.}$$

બોલ્ટ્ડરમેનનો અચળાંક (k_B):

ઓસ્ટ્રીયન ભૌતિકશાસ્ત્રી લુડવિગ બોલ્ટ્ડરમેને થમોડાઇનેમિક્સ અને સ્ટેટિસ્ટિકલ મિકેનિક્સના વિકાસમાં અમૂલ્ય ફાળો આપ્યો હતો. તેમણે વાયુના કણાની ઊર્જા અને વાયુના તાપમાનને સાંકળતું સૂત્ર મેળવ્યું. જો કોઈ એક પરમાણુક વાયુના કણાનું દળ m અને તેનું નિરપેક્ષ તાપમાન T હોય, તો આ સૂત્ર નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$\frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T \quad \dots \dots \dots (4)$$

અહિં k_B ને બોલ્ટ્ડરમેનનો અચળાંક કહે છે. સમીકરણ (4) દર્શાવે છે કે $k_B T$ ના પરિમાણ ઊર્જાના પરિમાણ જેવા જ છે. સાર્વત્રિક વાયુ અચળાંક R અને એવોગેડ્રો અચળાંક N_A નો ગુણોત્તર પણ બોલ્ટ્ડરમેન અચળાંક જ દર્શાવે છે.

$$k_B = \frac{R}{N_A} \quad \dots \dots \dots (5)$$

1877માં બોલ્ટ્ડરમેન એન્ટ્રોપી અને સંભાવનાને એકબીજા સાથે સાંકળ્યા, પરંતુ તે સૂત્રમાં કોઈ અચળાંક તેમણે નહોતો આપ્યો. મેક્સ પ્લેન્ક આપેલા કાળા પદાર્થના ઊર્જા વિતરણ માટેના સૂત્રની તાર્યારીમાં સૌ પ્રથમવાર આ અચળાંક k_B દાખલ કર્યો અને તેનું ચોક્કસ મૂલ્ય પણ આપ્યું.

$$SI \text{ પદ્ધતિમાં } k_B = 1.3806488 \times 10^{-23} \text{ J/K છે.}$$

સાર્વત્રિક વાયુ અચળાંક (R) :

આદર્શ પરિસ્થિતિમાં વાયુની વર્તણુક સમજાવવા માટેના સૈંક્રાંતિક સમીકરણામાં આવતો આ એક અચળાંક છે, જેને સાર્વત્રિક મોલર વાયુ નિયતાંક અથવા સાર્વત્રિક વાયુ અચળાંક અથવા આદર્શ વાયુ અચળાંક અથવા માત્ર વાયુ અચળાંક તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. એક મોલ આદર્શ વાયુના દબાણા અને તેના કણના ગુણાકારને તેના નિરપેક્ષ તાપમાન વડે ભાગતા મળતું મૂલ્ય સાર્વત્રિક વાયુ અચળાંક જેટલું હોય છે. એક મોલ આદર્શ વાયુના તાપમાનમાં અચળ દબાણે એક એકમ જેટલો ફેરફાર કરવા માટે કણ્ણું પડતું કાર્ય પણ સાર્વત્રિક વાયુ અચળાંક જેટલું હોય છે.

ફેંચ રસાયણશાસ્ત્રી હેન્રી રેનોએ મેળવેલા પ્રાયોગિક પરિમાણોનો ઉપયોગ કરીને શરૂઆતમાં સાર્વત્રિક વાયુ અચળાંકનું મૂલ્ય મેળવ્યું હતું. તેથી સાર્વત્રિક વાયુ અચળાંકને ઘણીવાર રેનો અચળાંક (Regnault constant) તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે અને તેથી જ તેને R સંજા વડે દર્શાવવામાં આવે છે. SI પદ્ધતિમાં તેનું મૂલ્ય $R = 8.3144621(75) \text{ J/mol K}$ છે.

મૂળભૂત વિદ્યુતભાર (e):

1897માં સર જે. જે. થોભ્સને વિદ્યુતવિભાર નળીના તેમના ખૂબ જ જાણીતા પ્રયોગ પરથી ઇલેક્ટ્રોનની શોધ કરી (જોકે તેમણે



તેને ઇલેક્ટ્રોન નામ નહોંતું આપ્યું), અને તેના ગુણધર્મો પણ મેળવ્યા. તે પરથી સાબિત થતું કે ઇલેક્ટ્રોન એક વિદ્યુતભારિત કણ છે. (જોકે થોમ્સને કરેલા આ પ્રયોગ પરથી તેમણે ઇલેક્ટ્રોનના વિદ્યુતભારનું મૂલ્ય નહિં, પરંતુ ઇલેક્ટ્રોનના વિદ્યુતભાર અને દળનો ગુણોત્તર મેળવ્યો હતો.) ઇલેક્ટ્રોનના વિદ્યુતભારને મૂળભૂત વિદ્યુતભાર કહેવામાં આવે છે. ઘણીવાર ઇલેક્ટ્રોન (અથવા પ્રોટોન)ના વિદ્યુતભારને પ્રાથમિક વિદ્યુતભાર તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે. આ મૂળભૂત વિદ્યુતભારનું મૂલ્ય સૌપ્રથમ 1909માં અમેરિકન ભૌતિકશાસ્ત્રી રોબર્ટ મિલિકને તેમના ખૂબ જ જાણીતા ‘તેલના ટીપા’ ના પ્રયોગમાં મેળવ્યું હતું. આ પ્રયોગને ભૌતિકશાસ્ત્રમાં અત્યારપર્યંત કરાયેલા પ્રયોગો પૈકીના દસ સર્વ્યક્રીએક પ્રયોગમાં સ્થાન આપવામાં આવે છે. તેમણે મેળવેલ મૂલ્યમાં હાલના સ્વીકાર્ય મૂલ્ય કરતાં 0.5% જેટલો જ ફરક છે. કુદરતમાં મળી આવતો કોઈ પણ વિદ્યુતભાર Q આ મૂળભૂત વિદ્યુતભારના પૂર્ણાંકમાં હોય છે, જે વિદ્યુતભારનું કવોન્ટાઇઝેશન દર્શાવે છે. સૂત્રાત્મક રીતે, $Q = ne$.

ભૌતિકશાસ્ત્રમાં વિદ્યુતભાર સંબંધિત બીજો પણ એક મૂળભૂત સિક્કાંત અસ્તિત્વ ઘરાવે છે. જેને વિદ્યુતભારના સંરક્ષણાનો નિયમ કહે છે. આ નિયમાનુસાર, વિદ્યુતની દર્ખિએ અલગ કરેલા તંત્રમાંના વિદ્યુતભારોનો બૈજિક સરવાળો હંમેશા અચળ રહે છે. SI પદ્ધતિમાં, $e = 1.602176565 \times 10^{-19} C$ છે. એ દ્વારાનાં રાખજો કે આ "C" એ 'કુલંબ'ની સંઝા છે. પ્રકાશનો વેગ "C" એ મૂલ્યમાં મોટે પણ સંજ્ઞામાં નાનો છે !!

ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થિર દળ (m_e) :

કણોના બૌતિકશાસ્ત્રમાં કણોના ગુણધર્મના આધારે તેમના પ્રકાર પાડેલા છે. જે પૈકી ઇલેક્ટ્રોન એ એક પ્રકારનો લેપ્ટોન છે અને આવા લેપ્ટોનને મૂળભૂત કણો તરીકે ઓળખવામાં આવે છે કારણ કે તેમને કોઈ આંતરિક બંધારણ હોય, તેવું હજી સુધી જાણવા મળ્યું નથી. આપણે જાણીએ છીએ કે અણુ અને પરમાણુના બંધારણ તથા ખાસ તો તેમના ગુણધર્મો માટે ઇલેક્ટ્રોન જવાબદાર છે અને તેથી તેનું દળ અત્યંત સૂક્ષ્મ હોવા છતાં જાણવું જરૂરી છે. કોઈ અવલોકનકારની સાપેક્ષે જે ઇલેક્ટ્રોનની ઝકપ શૂન્ય હોય, તેવા ઇલેક્ટ્રોનના દળને ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થિર દળ m_e કહે છે. ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થિર દળ શોધવાની એક રીત રિકર્ડાર્ગની અચળાંકનો ઉપયોગ કરવાની છે.

SI પદ્ધતિમાં, $m_e = 9.109\ 382\ 15\ (45) \times 10^{-31}\ kg$ છે. આઈન્સ્ટાઇનના જાણીતા સમીકરણ $E = mc^2$ અનુસાર દળ અને ઊર્જા એકબીજાને સમતુલ્ય છે. તેથી ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થિર દળ ઘણીવાર $m_e = 0.51099906\ MeV/c^2$ વડે પણ દર્શાવવામાં આવે છે.

પ્રોટોનનું સ્થિર દળ (m_p):

Protoનો અર્થ થાય છે, આદિ અથવા મૂળ અથવા પ્રથમ. પ્રોટોનની તેના ગુણાધર્મો સહિતની સંપૂર્ણ ઓળખ 1920ના અરસામાં થઈ. પ્રોટોન એ ઘન વિદ્યુતભાર ધરાવતો પરમાણિક કણ છે, જેના પરના વિદ્યુતભારનું મૂલ્ય ઈલેક્ટ્રોનના વિદ્યુતભાર જેટલું જ છે. પરંતુ તેનું સ્થિર દળ m_p ઈલેક્ટ્રોનના સ્થિર દળ કરતાં આશરે 1836.16 ગણું છે. ઘણા વર્ષો સુધી પ્રોટોનને મૂળભૂત કણ ગણવામાં આવતો હતો. પરંતુ કવાઈસનું અસ્તિત્વ નક્કી થયા બાદ હવે તેને મૂળભૂત કણ ગણવામાં આવતો નથી. તેમ છતાં, તેનું દળ ભૌતિકવિજ્ઞાનનો એક મૂળભૂત અચળાંક છે. તેનું મૂલ્ય $m_p = 1.67262177774 \times 10^{-27}$ kg અથવા 938.27231 MeV/c² છે.

પલેનકનો અચળાંક (h):

ભૌતિકશાસ્ત્રમાં જોવા મળતા સૂક્ષ્મ મૂલ્ય ધરાવતા અચળાંકો પૈકીનો આ એક અચળાંક છે. જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી કિર્ચોફે કરેલા કાળા પદાર્થના વિકિરણના પ્રયોગ પરથી મળતા તારણો સમજાવવા માટે અન્ય જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી મેક્સ પ્લેન્કે 1900માં આપેલા વાદમાં સૌપ્રથમવાર અચળાંક ' h ' નો ઉલ્લેખ જોવા મળે છે. પ્લેન્કના અચળાંક વડે વિકિરણ અને દ્રવ્યનું કવોન્ટાઇઝેશન સમજી શકાય છે. આ અચળાંક એ વિકિરણની કણ અને તરંગ સ્વરૂપની વર્તણૂક સમજાવવા માટે તેમણે તૈયાર કરેલા ગાળિતીય સૂત્રની એક લાક્ષણિકતા છે. પ્લેન્કે આપેલા વાદ અનુસાર કાળા પદાર્થમાંથી વિકિરણનું ઉત્સર્જન અને શોષણ અસતત ઊર્જાના જથ્થામાં થાય છે. આ વિકિરણ-કવોન્ટાઇઝેશનની ઊર્જા, તેની આવૃત્તિ 'વ'સાથી પ્લેન્ક અચળાંક દ્વારા નીચેના સુત્ર દ્વારા સંકળાયેલ છે.

1923માં ફેચ્ વૈજ્ઞાનિક લુઈસ દ' બોગલી એ ક્રવ્યતરંગ માટે મેળવેલા વેગમાન અને તરંગલંબાઈ વરચેના સંબંધમાં પણ પ્રોન્કનો અચળાંક સંકળાયેલો છે. દ' બોગલીના સમીકરણ નીચે મજબુત છે.

SI ਪ੍ਰਕਤਿਮਾਂ $h = 6.62606957 (29) \times 10^{-34}$ J.s ਹੈ।

કાળા પદાર્થના વિકિરણાના પ્રાયોગિક પરિણામોનો ઉપયોગ કરીને પ્લેન્કે પોતે મેળવેલું h નું મૂલ્ય 6.55×10^{-24} J.s હતું, જે આજના સ્વીકાર્ય મૂલ્ય કરતાં ઓછું છે. તે રીતનો ઉપયોગ કરીને તેમણે બોલ્ટ્ડઝેનના અચળાંકનું મૂલ્ય પણ મેળવ્યું હતું. પ્લેન્કના અચળાંકનો ઉપયોગ કરીને અન્ય મૂળભૂત અચળાંકો, જૈવા કે ઇલેક્ટ્રોનનું સ્થિર દળ, એવોગોડ્રો અચળાંક, મૂળભૂત વિધુતભાર, બોહર અચળાંક વગેરેના મૂલ્યો પણ મેળવી શકાય છે. પ્લેન્કના અચળાંકનું મૂલ્ય ભલે અતિશાય નાનું લાગતું હોય, પરંતુ આધુનિક વિજ્ઞાન-ટેકનોલોજીના વિકાસમાં તેનો અત્યંત મહત્વનો ફાળો છે, એમ કહીએ તો તેમા સ્થેજ પણ અતિશાયોક્તિ નથી કારણ કે પ્લેન્કનો વાદ અને તેનો આ અચળાંક પરમાણુ-આણુ રચના, અર્ધવાહકો અને ત્યારબાદ ટ્રોઝીસ્ટર, IC વગેરેના પાચામાં છે. આ પ્રયુક્તિઓ થડી જ આધુનિક કોમ્પ્યુટરો, મોબાઇલ વગેરેનું નિર્માણા શક્ય બન્યું છે અને માણસના જીવનમાં આમૂલ પરિવર્તન આવી ગયું છે.

ગોંધ: સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી અને કવોન્ટમ મિકેનીકસમાં પ્લેન્કના આ અચળાંક પરથી તારયેલો અચળાંક $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ પણ બહોળા પ્રમાણમાં ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે. \hbar ના સ્વરૂપમાં વિકિરણ ફોટોનની ઊર્જાનું સૂત્ર નીચે મુજબ લખી શકાય.

સંજ્ઞા \hbar ના સ્વરૂપમાં સૌથી વધુ જાણીતું અન્ય સમીકરણ હાઈજનબર્ગનો અનિશ્ચિતતાનો સિદ્ધાંત છે,

$$\Delta p_x \Delta x \geq \frac{\hbar}{2} \quad \dots \dots \dots (9)$$

ખાસ નોંધીએ કે \hbar નું એકમ એ કોણીય વેગમાનનું એકમ છે.

ફેરેડેનો અચળાંક (F):

1832-33માં ફેરેને વિદ્યુતપૃથક્કરણાના અસંખ્ય પ્રયોગો કર્યા હતા. આ પ્રયોગના પરિણામોને એમણે બે નિયમોના સ્વરૂપમાં રજૂ કર્યા, જે ફેરેના વિદ્યુતપૃથક્કરણાના નિયમો તરીકે ઓળખાય છે. આ પ્રયોગો દરમ્યાન તેમણે વિદ્યુતરાસાચાયાદિક કોષમાં ઇલેક્ટ્રોટ પાસે છૂટા પડતા પદાર્થના દળ ને વિદ્યુતક્રાવણમાંથી પસાર કરવા પડતા વિદ્યુતભાર વચ્ચેનો સંબંધ પ્રસ્થાપિત કર્યો અને તે પરથી ફેરેનો અચળાંક વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવ્યો. વિદ્યુતક્રાવણમાંથી એક ગ્રામતુલ્ય પદાર્થ છૂટો પાડવા તેમાંથી પસાર કરવા પડતા વિદ્યુતભારના મૂલ્યને ફેરેનો અચળાંક કહેવામાં આવે છે. બીજુ એક વ્યાખ્યા અનુસાર, એક મોલ ઇલેક્ટ્રોન પરના વિદ્યુતભારને ફેરેનો અચળાંક કહેવામાં આવે છે. નોંધનીય વાત એ છે કે તેમના સમયમાં ઇલેક્ટ્રોન અને તેના ઝાણ વિદ્યુતભાર વિષે કોઈ માહિતી ન હતી. ફેરેનો અચળાંક અન્ય બે સાર્વત્રિક અચળાંકો, ઇલેક્ટ્રોનનો વિદ્યુતભાર અને એવોગેડો અચળાંક સ્વરૂપમાં નીચે મુજબ દર્શાવી શકાય છે.

SI પદ્ધતિમાં F = 96485.3365 (21) C/mol છે.

નોંધ: એક ભોલ ઇલેક્ટ્રોન પરના વિદ્યુતભારને એક ફેરેકે (વિદ્યુતભારનો એકમ) કહે છે. એક ભોલ દીઠ એક ફેરેકે વિદ્યુતભારને ફેરેકે અચળાંક કહેવાય.

સ્ટિફન-બોલ્ટ્ડરમેનનો અચળાંક (૧):

સ્ટિફન-બોલ્ટર્ડમેનના નિયમ અનુસાર સંપૂર્ણ કાળા પદાર્થમાંથી એકમ સમયમાં એકમ ક્ષેત્રફળ દીઠ ઉત્સર્જિત ઊર્જા તેના નિરપેક્ષ



તાપમાનના ચતુર્થ ધાતના સમપ્રમાણમાં હોય છે. આ નિયમ સંપૂર્ણ કાળા પદાર્થના એકમ ક્ષેત્રફળ દીઠ ઉત્સર્જિત થતો પાવર પણ દર્શાવે છે. આમ,

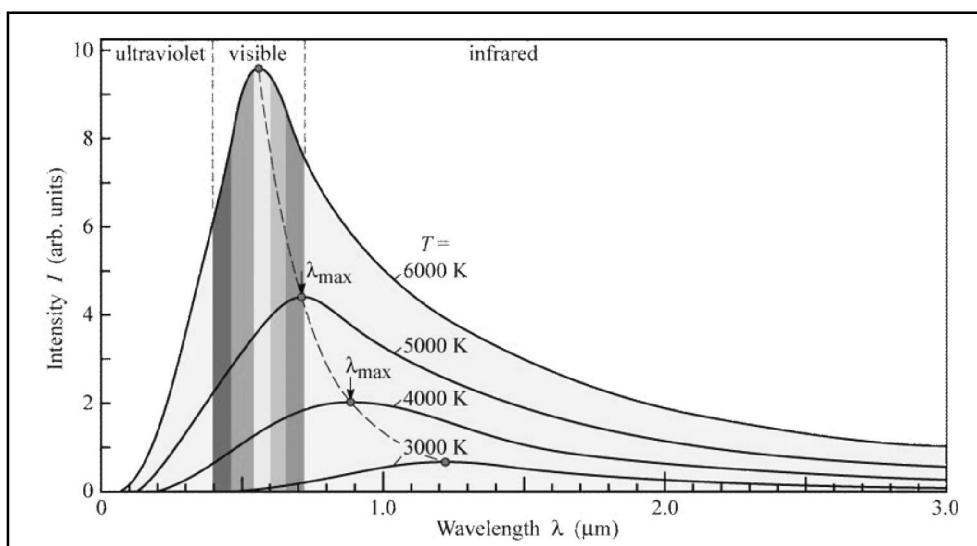
$$W = \frac{E}{At} \propto T^4 \quad \text{અથવા} \quad W = e\sigma T^4 \quad \dots\dots\dots(11)$$

આ નિયમ ઓસ્ટ્રોયન વૈજ્ઞાનિક સ્ટિફન ઈ.સ. 1879માં પ્રાયોગિક રીતે અને બીજા ઓસ્ટ્રોયન વૈજ્ઞાનિક લુડવિગ બોલ્ટ્રભેને 1884માં સૈઝાંતિક રીતે તારવ્યો હતો અને તેથી તેને સ્ટિફન-બોલ્ટ્રભેનના નિયમ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. સમપ્રમાણાતાના અચળાંક ઠ ને સ્ટિફન-બોલ્ટ્રભેનનો અચળાંક કહેવામાં આવે છે, જ્યારે e સપાટીની ઉત્સર્જકતા દર્શાવે છે. ઠ નું મૂલ્ય બીજા અચળાંકોના સ્વરૂપમાં મેળવી શકાય. (અતે "e" એટલે electronનો નહીં, emissivity નો e....!)

$$\text{SI પદ્ધતિમાં તેનું મૂલ્ય } \sigma = 5.670367 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \text{ છે.}$$

વીનનો સ્થાનાંતરીય અચળાંક (b):

જર્મન ભૌતિકવિજ્ઞાની વિલ્હેમ વીને ઓગાણીસમી સદીમાં અંત ભાગમાં કાળા પદાર્થના વિકિરણનો ઊંડાણપૂર્વક અભ્યાસ કર્યો. તેમણે કાળા પદાર્થ માટેના વિકિરણ તીવ્રતા વિરુદ્ધ તરંગલંબાઈના આલેખ પરથી તારવ્યું કે જુદા જુદા તાપમાને જુદી જુદી તરંગલંબાઈએ



આકૃતિ-(2)

વિકિરણ તીવ્રતાનું મહત્તમ મૂલ્ય મળે છે. (આકૃતિ-2). જે તરંગલંબાઈએ વિકિરણ તીવ્રતા મહત્તમ થાય, તે તરંગલંબાઈ (λ_m) અને કાળા પદાર્થના નિરપેક્ષ તાપમાન (T)ને સાંકળતો અચળાંક એટલે જ વીનનો સ્થાનાંતરીય અચળાંક. હકીકતમાં λ_m નું મૂલ્ય આપેલા કાળા પદાર્થના નિરપેક્ષ તાપમાનના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. આમ,

$$\lambda_m \propto \frac{1}{T} \quad \text{અથવા} \quad \lambda_m T = b \quad \dots\dots\dots(12)$$

જ્યાં b ને વીનનો સ્થાનાંતરીય અચળાંક કહે છે. વીનના સ્થાનાંતરીય અચળાંકની મદદથી સૂર્ય અને અન્ય તારાઓનું તાપમાન જાણી શકાય છે.

SI पद्धतिमां तेनुं मूल्य $b = 2.8977721(26) \times 10^{-3}$ mK છે.

રીડર્ગનો અચળાંક (R_∞):

સ્વીડીશ ભૌતિકવિજ્ઞાની ચોહાનીસ રીડર્ગો પરમાણિય વર્ણપટના અભ્યાસ માટે જરૂરી એવો અચળાંક મેળવ્યો, જે હાઇડ્રોજન માટે R_H અને અન્ય તત્ત્વો માટે R_∞ તરીકે લેવામાં આવે છે. અહીં R_∞ માં ∞ નો અર્થ છે. અનંત દળવાળા ન્યુક્લિયસ માટે. રીડર્ગનો અચળાંક એ ઈલેક્ટ્રોનની ન્યુક્લિયસ સાથેની બંધનઉર્જાને સાંકળતો એક અચળાંક છે. હાઇડ્રોજન પરમાણુના વર્ણપટના અભ્યાસ દરમયાન તેમણે મેળવેલા આનુભવિક (empirical) સૂત્રમાં સૌપ્રથમ આ અચળાંક દાખલ કર્યો હતો. રીડર્ગનો અચળાંક હાઇડ્રોજન પરમાણુમાંથી ઉત્સર્જિત થઈ શકે તેવી મહત્વમાં તરંગ-સંખ્યા પર નિયંત્રણ લાદે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ, તો રીડર્ગનો અચળાંક હાઇડ્રોજન પરમાણુનું તેની ધરા અવસ્થામાંથી આયનીકરણ કરવા માટે જરૂરી લઘુત્વમાં ડિજાવાળા ફોટોનની તરંગ-સંખ્યા દર્શાવે છે.

હાઇડ્રોજન માટે રીડર્ગના અચળાંક માટેનું સૂત્ર નીચે મુજબ છે.

$$R_H = \frac{m_e m_p}{m_e + m_p} \cdot \frac{e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \quad \dots\dots\dots (13)$$

કોઈ પરમાણિયક ઈલેક્ટ્રોન n_i કવોન્ટમ આંકવાળી કક્ષામાંથી n_f કવોન્ટમ આંકવાળી કક્ષામાં સંકાંતિ કરે, ત્યારે ઉત્સર્જિત તરંગસંખ્યા માટેનું રીડર્ગો મેળવેલું આનુભાવિક સૂત્ર નીચે મુજબ છે.

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad \dots\dots\dots (14)$$

SI પદ્ધતિમાં તેનું મૂલ્ય $R_\infty = 1.0973731568539 (55) \times 10^7$ m⁻¹ છે.

સૂક્ષ્મ બંધારણનો અચળાંક (α):

જર્મન ભૌતિકવિજ્ઞાની આર્નોલ્ડ સોમરફેલ્ડે 1916માં આપેલા તેમના પરમાણિય વાદમાં વર્ણપટની રેખાઓ સંબંધે સૂક્ષ્મ બંધારણ અચળાંક આપ્યો. હકીકતમાં હાઇડ્રોજન પરમાણુના ડિજા સ્તરોના વિભાજનની સમજુતી આપવા માટે સોમરફેલ્ડે બોહ્સના વાદમાં સુધારો કર્યો હતો. તેમણે ઈલેક્ટ્રોનની ભ્રમણકક્ષા વર્તુળાકારના બદલે લંબવૃત્તીય ધારી લીધી અને ઈલેક્ટ્રોનના દળ પર તેના વેગની સાપેક્ષવાઈ અસરને પણ ધ્યાનમાં લીધી. આમ કરતા તેમણે મેળવેલા સૂત્રમાં એક અચળાંક તેમને મળ્યો, જેને તેમણે સૂક્ષ્મ બંધારણ અચળાંક નામ આપ્યું. આ અચળાંક અન્ય મૂળભૂત અચળાંકો સાથે નીચેના સૂત્ર વડે સંકળાયેલો છે.

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 \hbar c} \quad \dots\dots\dots (15)$$

આ સૂક્ષ્મ બંધારણ અચળાંક પ્રાથમિક વિદ્યુતભારિત કણો વરચેની વિદ્યુતચુંબકીય અંતર્કિયાની પ્રબળતા સમજવા માટે પણ ખૂલ જ મહિંદ્રાનો છે. આ અચળાંકનું મૂલ્ય v_1/c સૂત્ર વડે પણ આપી શકાય, જ્યાં v_1 એ પ્રથમ બોહર (વર્તુળાકાર) ભ્રમણકક્ષામાં ઈલેક્ટ્રોનની ઝડપ છે અને c શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ છે. આ સમીકરણ સોમરફેલ્ડને તેમના સૂત્રની તારખણી દરમયાન મળ્યું.

સૂક્ષ્મ બંધારણનો અચળાંક એક એકમરહિત અને પરિમાણરહિત અચળાંક છે. રીચર્ડ ફેનમેન આ અચળાંકને “અવલોકિત ચુંમનનો (coupling) અચળાંક” અથવા “વાસ્તવિક ઈલેક્ટ્રોન માટે વાસ્તવિક ફોટોન ઉત્સર્જિત કરવા માટેનો કંપવિસ્તાર” કહેલ છે. આધુનિક ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં “ α ” નું મહિંદ્રા વિશિષ્ટ છે. SI પદ્ધતિમાં તેનું મૂલ્ય $\alpha = 7.2973525698(24) \times 10^{-3}$ અથવા $\alpha \approx 1/137$ છે.



બોહર મેમ્ફેટોન (μ_B):

તે પરમાણુથી કણોની ચુંબકીય ચાકમાત્રા દર્શાવવા માટેનો એકમ છે, જે ડેનીશ ભૌતિકશાસ્ત્રી નીલ્સ બોહરના માનમાં બોહર મેમ્ફેટોન તરીકે ઓળખાય છે. મેમ્ફેટોન શબ્દ ફેંચ વैજ્ઞાનિક વિઝે આપ્યો હતો. બોહર મેમ્ફેટોન શબ્દનો સૌપ્રથમ ઉત્તોખ પૌતીએ 1920માં લખેલા તેમના એક લેખમાં કર્યો હતો. "h" જેટલા કોણીય વેગમાનથી કક્ષીય ગતિ કરતાં ઈલેક્ટ્રોનની તેની ધરા અવસ્થામાંની ચુંબકીય ચાકમાત્રાનું મૂલ્ય એક બોહર મેમ્ફેટોન જેટલું હોય છે. બોહરના પરમાણુથી નમૂના પ્રમાણે આ ભ્રમણાકષા ઈલેક્ટ્રોનની લઘુત્તમ ઊર્જાવાળી ભ્રમણાકષા છે.

બોહર મેમ્ફેટોનનું ગૌસીયન મૂલ્ય નીચેના સૂત્ર પરથી મેળવી શકાય:

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$$

$$\text{SI પદ્ધતિમાં તેનું મૂલ્ય } \mu_B = 9.274009994 \times 10^{-24} \frac{J}{T} \text{ અથવા } \mu_B = 5.78838180 \times 10^{-5} \frac{eV}{T} \text{ છે.}$$

અહિં શક્ય એટલા મૂળભૂત અચળાંકો વિષે માહિતી આપવા પ્રયાસ કર્યો છે. પરંતુ એક બાબતની નોંધ લઈએ કે આ મૂળભૂત અચળાંકોની હજી વધુ ચોકસાઈપૂર્વક અને હજી વધારે સાર્થક અંકો સાથે માપન કરવાની જરૂર જણાય છે.

અંતે એક સ્વાભાવિક પ્રશ્ન એ ઉદ્ભવે છે કે અચળાંકોના આ ચોક્કસ મૂલ્યોનો કોઈ સૂચિતાર્થ હશે ખરો ?! આ અચળાંકોના મૂલ્યો છે, તેના કરતાં થોડાં જુદાં હોત તો તેનાથી ભૌતિકશાસ્ત્રને અને સમગ્રતથા માનવજીતને કોઈ ફરક પડ્યો હોત ખરો...? કદાચ હા. જો આ અચળાંકોના મૂલ્યો અત્યારે છે તેના કરતાં જુદાં હોત, તો કદાચ આપણું બ્રહ્માંડ પણ જુદું હોત, કદાચ આપણું અસ્તિત્વ ન પણ હોત અને તો આ લેખ પણ લખાયો ન હોત.

... Thank God, the fundamental constants are as they are....!!

અસ્તુ...

Cosmological constant denoted by capital lambda Λ represents the energy density of the vacuum of space. It was introduced first by Einstein in his general relativity (1917), in an attempt to achieve 'static' (neither expanding nor contracting) Universe in his theory. Later Einstein abandoned this idea when observations made by Hubble (1929) led to the discovery that Universe is expanding. Therefore, till 1990s the constant Λ was assumed to be zero, but then the ideas of accelerating universe and dark energy started gaining ground. Astronomical observations are indicative of the need for a non-zero Cosmological constant, and efforts are on to determine its value precisely.

વિદ્યુત અને ચુંબકત્વ - સ્વતંત્ર પ્રારંભ, ઐતિહાસિક સમજવિદ્યા

ડૉ. ચેતન કે. ચૌહાણ

આસિસ્ટન્ટ પ્રોફેસર, ગવર્નમેન્ટ સાયન્સ કોલેજ,

સેક્ટર-15, ગાંધીનગર

'પ્રગામી તરંગ-2015'માં ચુંબકત્વની સુંદર ઝાંખી કરાવવામાં આવી હતી. તે અનુસંધાને આ લેખ પણ રોચક બનશે.

1. પ્રારંભિક

વિદ્યુત (Electricity) અને ચુંબક (Magnetism) એ બને ઘણા લાંબા સમયથી, આમ જોઈએ તો વિદ્યિવત રીતે ઐતિહાસિક નોંધો લેવાની શરૂઆત થઈ, તે પહેલાંથી જાણીતાં છે. ઇ.સ. પૂર્વે 600થી ગ્રીક પ્રાચીન તત્ત્વચિંતકો સ્થિર વિદ્યુત (Static Electricity)ની ઘટનાઓથી પરિચિત હતા. તેઓ જાણતાં હતાં કે જ્યારે એમ્બર (વૃક્ષોના રેઝિનનું અશ્મિભૂત પીળા રંગનું અર્ધપારદર્શક સ્વરૂપ)ને રંગાટી ધરાવતાં ચામડાં (Fur-a-fur) સાથે ઘસવામાં આવે ત્યારે તે કાગળના સૂક્કા નાના નાના ટુકડાઓ કે નાના પીંછાઓ જેવા હળવા પદાર્થોને આકર્ષવાનો ગુણધર્મ પ્રાપ્ત કરે છે. પરંતુ આમ થવા પાછળના વૈજ્ઞાનિક તથયથી તેઓ અજાણ હતા. અંદાજે 2200 વર્ષો સુધી આકર્ષણો આ વિચિત્ર લાગતો ગુણધર્મ એક રહસ્ય જ રહ્યો હતો. લેટિનમાં એમ્બર માટેનું પ્રાચીન નામ ઇલેક્ટ્રોન (Elektron) અને શાસ્ત્રીય નામ ઇલેક્ટ્રુમ (Electrum) હતું. આથી જ તો ડૉ. વિલિયમ ગિલબર્ટ ઇ.સ. 1600માં સૌપ્રથમ વખત Electricity શબ્દ પ્રયોગ કર્યો હતો, તેમજ એમ્બર જેવા આકર્ષણાના ગુણધર્મને electric force તરીકે ઓળખાવ્યો હતો. ચુંબકત્વનો ઇતિહાસ પણ એટલો જ રસપ્રદ છે અને તે અંગે પણ વિવિધ દંતકથાઓ-લોકવાયકાઓ પ્રચલિત છે. સૌથી વધુ પ્રચલિત દંતકથા મુજબ આજથી લગભગ 4000 વર્ષ પહેલાં પ્રાચીન ઉત્તર ગ્રીસના માઉન્ટ આયડા (Mount Ida) પર્વતમાળાના મેશ્રેશિયા (Magnesia) નામના વિસ્તારમાં મેશ્રીસ (Magnes) નામનો ભરવાડ એક વખત પોતાના ઘેટાંઓને ચરાવવા લઈ ગયો હતો, ત્યારે તેણે અનુભવ્યું કે તેનાં પગખાંની લોખંડની ખીલીઓ અને તેની લાકડીના છેકે આવેલ લોખંડનું કંવચ, તે જે કાળા રંગના ખડક પર ઊભો હતો તેની સાથે એકદમ ચીટકી જતાં હતાં. આ પ્રકારના આકર્ષણનું કારણ જાણવા માટે સ્થળ પરની જમીન ખોદતાં લોખંડના પદાર્થોને આકર્ષવાનો વિશિષ્ટ ગુણધર્મ ધરાવતો પથ્થર પ્રાપ્ત થયો, જેને લોડસ્ટોન તરીકે ઓળખવામાં આવ્યો. લોડસ્ટોન પ્રકારના આ ખડકને મેશ્રેશિયા અથવા મેશ્રીસના નામ પરથી મેશ્રેટાઇટ (Magnetite) તરીકે ઓળખવામાં આવ્યો. લોડસ્ટોન એ કુદરતી રીતે પ્રાપ્ત થતી અને ચુંબકીય ગુણધર્મ ધરાવતી લોખંડની ખનીજ Fe_3O_4 નો બનેલો હતો. આમ, કુદરતી રીતે જ જમીનમાંથી પ્રાપ્ત થતા લોડસ્ટોન એ સૌપ્રથમ ચુંબક તરીકે જાણીતા થયા હતા. અલબતા, લોડસ્ટોનની શોધ બાદ લાંબાગાળા સુધી તે ગેરમાન્યતાઓ અને અંધવિશ્વાસથી ઘેરાયેલો રહ્યો અને તે જાદુઈ શક્તિઓ ધરાવે છે તેવું મનાતું રહ્યું. આ લોડસ્ટોનનાં આકર્ષ ગુણધર્મોની શોધનું શ્રેષ્ઠ ગ્રીક તેમજ ચીની લોકોને આપવામાં આવે છે. ઇ.સ. પૂર્વે પહેલી સદીમાં (99 BCથી 55 BC દરમિયાન) રોમન કવિ અને તત્ત્વચિંતક લુકેશિયસના તત્ત્વજ્ઞાનના સિદ્ધાંતોથી સભર દાર્શનિક મહાકાવ્ય "De Rerum Natura"માં ચુંબકનો ઉદ્ઘેન થયેલ છે. જ્યારે પહેલી સદીમાં ઇ.સ. 77માં પ્રકૃતિશાસ્ત્રી અને લેખક પ્લિની ધ એલ્ડરએ તેના લેટિન ભાષામાં લખેલા જ્ઞાનકોશ "Naturalis Historia"માં પણ કુદરતી ચુંબક લોડસ્ટોનનો ઉદ્ઘેન કરેલ છે. સમય જતાં લોકોને સમજાયું કે મેશ્રેટાઇટ એ ફક્ત લોખંડને આકર્ષ છે જ એવું નથી, પણ જો તેને સોચાકારનું બનાવીને પાણી તરતું મૂકવામાં આવે તો તે ઉત્તર-દક્ષિણ દિશામાં જ સ્થિર થાય છે, અને આ રીતે પ્રારંભિક દિશાસૂચક હોકાયંત્રના સર્જનનો પાચો નંખાયો. આમ મેશ્રેટાઇટ એ દિશા સૂચનામાં મદદરૂપ થતું હોવાથી તેને દિશાસૂચક પથ્થર (Leading stone) કે લોડસ્ટોન તરીકેની ઓળખ મળી. લોડસ્ટોનની શોધ બાદ સમયના લાંબા ગાળા સુધી તે માત્રને માત્ર આશ્ર્યજનક ચુંબકત્વની કુદરતી ઘટના જ બની રહી હતી.

ત્યારબાદ છેક તેથી સદીમાં ઇ.સ. 1269માં ફેન્ચ વિદ્ધાન પીટર પેરેટ્રિનુસ એ સૈન્યમાં કામ કરતાં કરતાં ચુંબકત્વ ઉપર વિદ્યિવત પ્રયોગો કર્યા હતા, અને ચુંબકના ગુણધર્મો તેના મિત્રને "Epistola de magnetе" પત્ર સ્વરૂપે શબ્દબદ્ધ કરીને જાણાવ્યા હતા. અલબતા, તમને જાણીને નવાઈ લાગશે કે આ પત્ર બે ભાગમાં વહેંચાયેલો અને કુલ તેર પ્રકારણોનો બનેલો એક ગ્રંથ હતો. ચુંબકના સંદર્ભમાં ધૂપ (Pole) શબ્દનો ઉપયોગ તેમણે સૌપ્રથમ વખત કર્યો હતો. આ ગ્રંથમાં તેમણે ચુંબકના ધૂપો વિશે, ચુંબકના ઉત્તર અને દક્ષિણ ધૂપોની ઓળખ, ચુંબકની એકબીજા પર થતી અસરો તેમજ ચુંબકત્વના આકર્ષણ અને અપાકર્ષણના નિયમોનું તર્કસંગત વર્ણન કર્યું હતું. તેમણે તે વખતે વિદ્યમાન એવા પાણીમાં તરતી ચુંબકીય સોચવાળા હોકાયંત્ર ઉપરાંત મધ્યવર્તી ખીલી પર મુક્ત રીતે ફરી શકતી ચુંબકીય સોચ

ધરાવતા નવ-સંસ્કૃત હોકાયંત્રની સમજ પણ આપી હતી. તેમણે એક એવા ચુંબકીય ગોળાની રચના કરી હતી કે જેને અવકાશી અક્ષ (celestial axis)ને સમાંતર ધર્ષણારહિત ધરી પર રાખવામાં આવે તો તે દિવસમાં એક ભ્રમણ પૂર્ણ કરે. તેમણે સતત ચાલતા રહેતા ચંત્ર (perpetual machine)ની કલ્પનામાં પણ ચુંબકની ઉપયોગીતાઓની શક્યતાઓના વિચારો રજૂ કરેલા. ઈ.સ. 1544માં જર્મન ઈજનેર જ્યોર્જ હાર્ટમે ચુંબકીય સોચનું બનેલું “નમન વર્તુળ (dip circle)” વિકસાયું હતું. આ ચંત્રમાં સમક્ષિતિજ અક્ષ પર મુક્ત રીતે ફરી શકે તેવી ચુંબકીય સોચ ઉર્ધ્વ દિશામાં રાખવામાં આવી હતી. અલબત્ત આ ડિપ સર્કલમાં ચુંબકીય સોચમાં જે ઝુકાવ (નમન કોણ) જોવા મળતો હતો, તેની પાછળના રહસ્યથી હજુ તેઓ અજાણ હતા અને આથી તે આવો ઝુકાવ જોવા ના મળે તે માટે તેમના આ ચંત્રમાં સુધારો કરવા માટે મથતા રહ્યા. ઈ.સ. 1581માં અંગ્રેજ ખલાસી રોબર્ટ નોભરેને “New Attractive” પુસ્તિકા પ્રકાશિત કરી. જેમાં તેઓએ લોડસ્ટોન અને તેના નૌપરિવહન (Navigation)માં વ્યાવહારિક ઉપયોગોનું વર્ણન કરેલ હતું. જેમાં તેમણે “ડિપ સર્કલ”ની મદદથી પૃથ્વીની ચુંબકીય બળ રેખાઓ દ્વારા સમક્ષિતિજ સાથેનો ખૂણો એટલે કે ચુંબકીય ક્ષેત્રનો ઝુકાવ કેવી રીતે જાણી શકાય છે તે સમજાયું હતું. આજે આપણે જાણીએ છીએ કે ઉર્ધ્વતલમાં ફરતી ચુંબકીય સોચ સમક્ષિતિજ સાથે જે ખૂણો ર્યે છે તેને તે સ્થળનો નમન કોણ (Angle of Magnetic Inclination કે જેને Magnetic Dip કે Dip Angle પણ કહેવામાં આવે છે) કહે છે. નમન કોણનું મૂલ્ય -90° થી $+90^{\circ}$ વર્ષે આપવામાં આવે છે. આ નમન વર્તુળ દ્વારા જે તે સ્થળનો નમન કોણ માપી શકાય છે. ચુંબકીય સોચનું આ પ્રકારનું સમતોલન એ જે તે સ્થળના અક્ષાંશ ઉપર આધારિત હોઈ, વિમાન ઉડુયન વિધામાં તે સવિશેષ ઉપયોગી બને છે.

2. સ્વતંત્ર વિકાસનો તબક્કો

અંગ્રેજ રાજતબીબ (કે જેઓ રાણી એલિક્રાબેથ-1ના અંગત તબીબ હતા), પ્રફુતિશાસ્ત્રી અને બૌતિકશાસ્ત્રી એવા વિલિયમ ગિલબર્ટે ઈ.સ. 1600માં લેટિન ભાષામાં “De Magnete” ગ્રંથ પ્રકાશિત કર્યો. અહિંથી વિદ્યુત અને ચુંબકત્વના સ્વતંત્ર વિકાસનો તબક્કો શરૂ થયો. આ ગ્રંથમાં તેમણે સૌપ્રથમ વખત ઉલ્લેખ કર્યો કે “પૃથ્વી પોતે પણ એક મોટું ચુંબક છે.” આ પહેલાં તો એવું માનવામાં આવતું હતું કે ધૂવ (Polaris)નો તારો અથવા તો પૃથ્વીના ઉત્તર ધૂવ પર આવેલ વિશાળ ચુંબકીય દ્વારા ચુંબકીય સોચ ઉત્તર તરફ સ્થિર થાય છે. ગિલબર્ટ ચુંબક પર પ્રયોગો કરવા માટે તેમના પુરોગામીઓથી પ્રેરિત થયા હતા. તેમણે જીવનનો મોટા ભાગનો સમય પૃથ્વીના ચુંબકત્વને સમજવામાં વ્યતિત કર્યો હતો. કુલ છ પુસ્તકોનો બનેલો તેઓનો આ મહાગ્રંથ એટલા માટે પ્રભાવક રહ્યો કે તેમાં ગિલબર્ટ ચુંબકને લગતા પ્રયોગોની ઊંડાણપૂર્વકની સાચી સમજ આપવાનો પ્રયાસ કર્યો અને સાથે સાથ તે વખતમાં પ્રવર્તતા પ્રાચીન ચુંબકીય વાદો અને ગેરમાન્યતાઓને નકારી કાઢ્યા હતા. ગિલબર્ટ તેના આ ગ્રંથમાં એમ્બર દ્વારા ઉદ્ભબતાં સ્થિર વિદ્યુતના કારણે ઉદ્ભબતા આકર્ષણાના પ્રયોગોનો ઉલ્લેખ પણ કર્યો હતો. તેઓએ સૌ પ્રથમ સ્થિત વિદ્યુતભારની હાજરી તપાસવા માટેનું વર્સોરિયમ (Versorium) નામનું પ્રારંભિક વિદ્યુતદર્શક (Electroscope) બનાયું હતું. વિદ્યુતભાર શું છે તે અંગે તો હજુ અજાનતા જ પ્રવર્તતી હતી, પરંતુ એમ્બર જેવા પદાર્થોને ફર સાથે ઘસવાથી એમ્બરમાં ઉદ્ભબતું આકર્ષણ એ ચુંબક દ્વારા ઉદ્ભબતા આકર્ષણાથી અલગ હતું, તે તેઓએ સમજાયું હતું. આમ ગિલબર્ટ સૌપ્રથમ વખત ‘વિદ્યુત’ અને ‘ચુંબકત્વ’ વચ્ચેની ભિન્નતાઓને પણ સ્પષ્ટ કરી હતી. આથી જ તો તેઓને કચારેક ‘વિદ્યુત અને ચુંબકત્વ’ ના જનક ગણવામાં આવે છે. ગિલબર્ટ પોતાના ઘણાં પ્રયોગોનું વર્ણન પૃથ્વીના નાના ચુંબકીય ગોળા સ્વરૂપની પ્રતિકૃતિ (કે જેને તેમણે terrella કહ્યું હતું ટેરેલા એ નાની પૃથ્વી માટેનો લેટિન શાન્દ છે,)ની મદદથી કરેલું છે. અતિ ઉત્સાહમાં આવી જઈને તેમણે એક એપો દાવો (અલબત્ત, બિલકુલ ખોટો દાવો) પણ કરી નાખ્યો કે પૃથ્વીની આ ચુંબકીય શક્તિના કારણે જ ચંદ્ર એ પૃથ્વીની આસપાસ ભ્રમણ કરે છે.

આ તરફ ચુંબકમાં વિદ્યુતને સમજવા માટેની ભથ્ધામણો ચાલી રહી હતી. ઈ.સ. 1729માં સ્ટીફન ગ્રેએ પ્રયોગો દ્વારા બતાયું કે વિદ્યુતનું વહન થઈ શકે છે, જ્યારે 1733માં ફાન્સના ચાર્લ્સ ફાન્સવા દ સિસ્ટરને ડયૂકે એ સૌ પ્રથમ વખત વિદ્યુતના સુવાહકો (conductors) અને અવાહકો (insulators) વચ્ચેનો તફાવત આપ્યો હતો, અલબત્ત આ માટે તેઓએ અનુક્રમે elec્ત્રિક્સ અને non-electric્સ શાન્દ પ્રયોગ કર્યો હતો. તેમણે વિદ્યુતના વહનનો “two-fluid” નો વાદ પણ આપ્યો હતો જેમાં તેમણે “vitreous” અને “resinous”ની સંકલ્પના આપી હતી, જેને સમય જતા ધન વીજભાર અને અણ વીજભાર તરીકે ઓળખવામાં આવ્યા. ઈ.સ. 1745માં ડચ વિજાની લાયડનએ સૌ પ્રથમ વખત સ્થિર વિદ્યુતનો સંગ્રહ કરી શકે તેવી અંદર અને બહાર ધાતુના વરખ લગાવેલી કાચની બરણી જેવી સંરચના બનાવી જેને આપણે ‘લાયડન જાર’ તરીકે ઓળખીએ છીએ, જે એક વિદ્યુત સંગ્રહક (conductor / capacitor) ગણાય. ઈ.સ. 1752માં એક લોકવાયકા મુજબ અમેરિકામાં પિતા-પુત્ર બેન્જામિન ફેન્કલિન અને વિલિયમ ફેન્કલિન એ વીજળીના કડાકા-ભડાકાવાળા વાદળણાયા તોફાની વાતાવરણમાં ખતરનાક એવો પતંગનો પ્રયોગ કર્યો ને દર્શાયું કે આકાશી વીજળી એ વિદ્યુતના કારણે થતી ઘટના છે, અને આ વિદ્યુતને એકત્રિત પણ કરી શકાય. તેમણે પ્રયોગો દ્વારા સમજાયું કે આકાશી વીજળીમાં રહેલ વિદ્યુતને સુવાહક સળીયા વડે



જો જમીનમાં ઉતારી દેવામાં આવે તો મોટા મોટા દેવળો અને મકાનોમાં વીજળીથી થતા નુકશાનને અટકાવી શકાય છે. અને આ રીતે આ પ્રયોગના પરિણામ સ્વરૂપે તેમણે સૌપ્રથમ વખત આકાશી વીજળીથી રક્ષણ મેળવવા માટેના “વિદ્યુતક્ષક (lightning rod)”ની શોધ કરી હતી. પ્રવાહ વિદ્યુત માટેના ઓહ્ના નિયમના મૂળ તો છેક 1781માં હેબ્રી ડેવેન્ડિશે કરેલા લાયડન જારના પ્રયોગોમાં હતા, જેમણે નોંધ્યું હતું કે “velocity (current) varied directly as the degree of electrification (voltage)”. અલબત્ત તે વખતે તેઓએ વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય પોતાના શરીર પર લાગતા શોકના પ્રમાણ દ્વારા માપ્યું હતું. આજનો જગવિખ્યાત ઓહ્નાનો નિયમ $V = IR$ ઈ.સ. 1827માં અસ્થિત્વમાં આવ્યો હતો.

ફેન્ચ ભૌતિકશાસ્ત્રી ચાર્ટ્સ ઓગસ્ટ દ કુલમ્બે 1784માં બે બિંદુવિના વચ્ચે ઉદ્ભવત વીજભારો વચ્ચે ઉદ્ભવતા આકર્ષણ કે અપાકર્ષણ સ્થિરવૈદ્યુત બળ (Electrostatic Force) નો કુલમ્બનો નિયમ (ન્યૂટનના સાર્વનિક ગુરુત્વાકર્ષણાબળના નિયમના ગાણિતિક સ્વરૂપ જેવો જ) પ્રસિદ્ધ કર્યો. આ નિયમ મુજબ બે બિંદુવિના વીજભારો વચ્ચે ઉદ્ભવતું સ્થિરવૈદ્યુતબળ એ તેમના વીજભારોના મૂલ્યોના ગુણાકારના સમ્પ્રમાણમાં અને તેમની વચ્ચેના અંતરના વર્ગના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. તથા આ બળ તે બે વીજભારોને જોડતી સુરેખાની દિશામાં હોય છે. આ

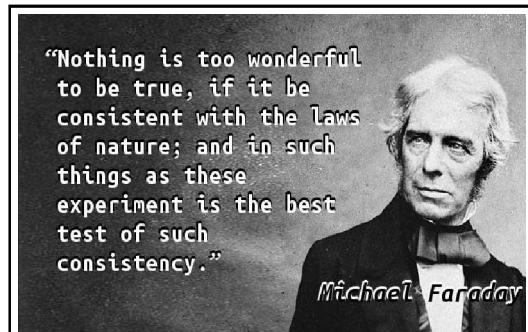
નિયમને અદિશ સ્વરૂપમાં આ મુજબ આપવામાં આવ્યો $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ જ્યાં q_1 અને q_2 એ વીજભારોના મૂલ્યો છે અને r એ તેમની વચ્ચેનું અંતર છે. જ્યારે k એ કુલમ્બનો અચળાંક છે. આગળ જતાં આ નિયમ વિદ્યુતચુંબકીય વાદ (Theory of Electromagnetism)ના વિકાસમાં અનિવાર્ય એવો આવર્શક બની રહેવાનો હતો.

ઈ.સ. 1800માં ઇટાલિયન રસાયણશાસ્ત્રી તેમજ ભૌતિકશાસ્ત્રી અલેક્ઝાન્ડ્રો વોલ્ટાએ એક સાદી વિદ્યુત બેટરીની શોધ કરી હતી, વોલ્ટા દ્વારા બનાવવામાં આવેલી આ બેટરી એ આમ જોઈએ તો એક વિદ્યુતરાસાચાયાદિક કોષ હતો કે જેમાં વીજ દ્વારા તરીકે મંદ સલ્ફ્યુરિક એસિડનો તેમજ કિંક અને કોપરના બે વીજાગ્રોનો ઉપયોગ કરવામાં આવ્યો હતો. વોલ્ટાએ વિદ્યુતરાસાચાયાદિક કોષની ર્યાના કરતી વખતે વિવિધ ધાતુઓના વીજાગ્રો લઈને પ્રયોગો કર્યા હતા અને દર્શાવ્યું હતું કે ઉદ્ભવતા વિદ્યુતપ્રવાહનો આધાર વીજાગ્રો પર હોય છે. સાથોસાથ વોલ્ટાએ એ પણ નોંધ્યું કે જો વીજાગ્રોની સંખ્યા વધારવામાં આવે તો વધારે પ્રમાણમાં વિદ્યુતપ્રવાહ પ્રાપ્ત કરી શકાય. વોલ્ટાની આ બેટરીની મદદથી સૌપ્રથમ વખત સતત અને સ્થાયી વિદ્યુતપ્રવાહ પ્રાપ્ત કરવામાં સફળતા મળી હતી. આ શોધ પહેલાં ફક્ત સ્થિત વિદ્યુતનો જ અભ્યાસ થતો આવ્યો હતો. પરંતુ આ શોધ બાદ હ્યે પ્રવાહ વિદ્યુતના અભ્યાસના દ્વારા ખૂલ્યા હતાં. આમ, પ્રવાહ-વિદ્યુત (Electricity)ના વિકાસના ઇતિહાસમાં આ એક કાંતિકારી શોધ હતી. વોલ્ટાની આ શોધ વગર કદાચ આજની આધુનિક ટેકનોલોજીનો વિકાસ શક્ય બન્યો ના હોત.

આમ, ‘વિદ્યુત’ અને ‘ચુંબક્ત્વ’ એમ બંને ક્ષેત્રોમાં વિવિધ પ્રયોગો- સંશોધનો એકબીજાથી અલગ અલગ વિષયો તરીકે થતાં રહ્યાં. પરંતુ 18મી સદી અને છેક 19મી સદીના પહેલાં બે દાયકાઓ સુધી લોકો આ બજે બાબતો પર આધારિત એવી વિદ્યુત ઘટનાઓ અને ચુંબકીય ઘટનાઓથી ઠીક ઠીક અંશો વાકેફ હોવા છતાં, ‘વિદ્યુત’ અને ‘ચુંબક્ત્વ’ વચ્ચે કોઈક સંબંધ હશે તેનાથી વાકેફ નહોતા. પણ હ્યે પણીનો ભૌતિક જગતનો ‘વિદ્યુત’ અને ‘ચુંબક્ત્વ’ના સંદર્ભમાં ઇતિહાસ જાણે કે કરવટ બદલવા તરફ આગળ વધી રહ્યો હતો. 1820માં થયેલી શોધો આ જગતને શાસ્ત્રીય વિદ્યુતચુંબકીય વાદ (Classical Theory of Electromagnetism)ના વિકાસ તરફ આગળ દ્વારાવવામાં મદદરૂપ બનનાની હતી. તે સંદર્ભે હ્યે વાત આવે છે ડેનિશ ભૌતિકશાસ્ત્રી, રસાયણશાસ્ત્રી અને પ્રોફેસર એવા નામાંકિત પિલ્લાન હંસ કિંશ્ચિયન ઓરસ્ટેડ (Oersted)ની કે જેઓની ‘વીજચુંબક્ત્વ’ની શોધને લઈને એક નવા યુગનો આરંભ થયો. ફક્ત 22 વર્ષની વધે ઓરસ્ટેડ પીએચ.ડી.ની પદવી મેળવીને 1806માં ફક્ત 29 વર્ષની વધે ડેનમાર્કની કોપનહેન ચુનિવર્સિટીમાં ભૌતિકશાસ્ત્ર વિષયના પ્રોફેસર બન્યા. તેમના કલાસ ભરવા માટે મોટી સંખ્યામાં વિદ્યાર્થીઓ ઉમટી પડતા હતા. તેઓ ખરા અર્થમાં એક શ્રેષ્ઠ વ્યાખ્યાતા હતા. 1820માં ઓરસ્ટેડ પ્રયોગ નિર્દર્શન સાથેનું વ્યાખ્યાન આપી રહ્યા હતાં, ત્યારે તેમણે નોંધ્યું કે જ્યારે બેટરી સાથે જોડેલા સુવાહક તારમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે છે, ત્યારે સુવાહક તાર પાસે રાખવામાં આવેલ ચુંબકીય સોચમાં કોણાવર્તન જોવા મળે છે. બેટરીને બે-ત્રણ વખત ચાલુ-બંધ કરીને મળતાં અવલોકનની ખાત્રી કરી. આ પણી વધારે પ્રયોગો કરીને તેમણે પ્રવાહ વિદ્યુત અને ચુંબક્ત્વ વચ્ચેનો સંબંધ પ્રસ્તાવિત કર્યો અને દર્શાવ્યું કે જ્યારે સુવાહક તારમાંથી સ્થાયી (Steady) વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે તારની આસપાસ વર્તુળાકારે ચુંબકીયસેન્ટ ઉદ્ભબે છે. જે તારના લંબ સમતલમાં હોય છે. ચુંબકીય ક્ષેત્રની તીવ્રતા એ તારમાંથી પસાર થતાં વિદ્યુતપ્રવાહના મૂલ્યના સમ્પ્રમાણમાં હોય છે. આ રીતે વીજચુંબક્ત્વ (Electromagnetism)ના એક મહત્વના આચામનો તેમજ ‘વિદ્યુત’ અને ‘ચુંબક્ત્વ’ વચ્ચેના એકીકરણનો પાયો નંખાયો.

ઓરસ્ટેડના આ પ્રયોગથી પ્રેરાઈને ફેન્ચ ભૌતિકશાસ્ત્રી અને ગણિતશાસ્ત્રી આંગ્રે-મેરી એભિયરને આ દિશામાં આગળ સંશોધન કરવા માટે દ્યાન કેન્દ્રિત કર્યું. તેમણે નોંધ્યું કે વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન કરતા બે તાર વચ્ચે આકર્ષણ થશે કે અપાકર્ષણ તેનો આધાર તારખાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ એક જ દિશામાં છે કે એકબીજાથી વિરુદ્ધ દિશામાં છે, તેના પર હોય છે. ભૌતિકવિજ્ઞાનના ઈતિહાસમાં તેઓ એભિયરના નિયમ અને વિદ્યુતપ્રવાહના એકમ Ampere દ્વારા અભર બની ગયા. એભિયરે વીજશાસ્ત્ર તેમજ ચુંબકીયશાસ્ત્ર એમ બંનેના સંરચનાત્મક ઘટક તરીક વર્તતા હોય તેવા કાલ્પનિક "Electrodynamic Molecule"ના અસ્તિત્વ વિશેની વાત પણ રજૂ કરી હતી; તે કદાચ ઈલેક્ટ્રોનની શોધ તરફ દોરી જવા માટે હશે...!?

આ બાજુ બિટીશ ભૌતિકશાસ્ત્રી વિલિયમ સ્ટર્જને ઇ.સ. 1824માં ઓરસ્ટેડની શોધથી પ્રેરાઈને પ્રારંભિક વીજચુંબક (Electromagnet) તેમજ વિદ્યુતમોટરની શોધ કરી. અલબત્ત, સ્ટર્જને બનાવેલ આ પ્રારંભિક વીજચુંબક પ્રમાણમાં નબળું હતું. દોસ્તો, પ્રેરણ (Inductance L)ના એકમ Henryથી આપણે પરિચિત છીએ. આ એકમ જેમના નામ પરથી આવેલ છે એ અમેરિકન વિજાની જોસેફ હેન્રીએ ઇ.સ. 1830માં સુચ્યવસ્થિત રીતે સુધારેલા વધુ શક્તિશાળી વીજચુંબકો બનાવ્યાં. તેમણે તાંબાના તાર પર રેશમના દોરા વીટાનીને ઇન્સ્યુલેટર તાર બનાવ્યો અને ત્યારબાદ અંતર્ભાગ (Core) ઉપર આવા તારના બહિવિદ્ય સ્તરોવાળા હજારો આંટાઓ આપીને શક્તિશાળી વીજચુંબકો બનાવ્યા. અરે, આ વીજચુંબકોના કારણે જ તો આજે વિદ્યુત ઘંટીથી લઇને વિદ્યુત મોટર, વિદ્યુત જનરેટર, ટ્રાન્સફોર્મર, લાઉન્ડ સ્પિકર, ઇન્ફર ફોનથી માંડીને માસ સ્પેક્ટ્રોમીટર, એમ.આર.આઈ. મશીન, ચુંબકીય લેવીટેશન દ્વારા દોડતી મેળેવ ટ્રેઇન અને કણ પ્રવેગાડો (Particle Accelerators) પણ શક્ય બન્યા છે.



Michael Faraday (1791-1867) was one of the most influential British scientists in the history of human civilization. There is a long list, not only of his discoveries and inventions, but also of unique features of his personality as a philosopher-scientist. Faraday was working as a book-binder when he got opportunity to attend lectures of Sir Humphrey Davy a famous chemist of his times. Michael took meticulous notes of Davy's lectures to make a neatly bound book (- that was his bread earning work...!) and presented it to Sir Davy. Subsequently he was employed as a scientific assistant in Davy's Lab, where his true genius got into real bloom. Humphrey Davy, himself a great chemist who discovered several chemical elements, proudly described Faraday as his greatest discovery...!

World today remembers Faraday, amongst others things, as the inventor of electromagnetic induction, which eventually led to dynamo and electrical generators. After he found out the phenomenon in his lab, he took the apparatus to give a demo to the British Prime Minister, who was quite impressed by the gadget. Praising Young Michael, he asked, "well my boy, this is truly great, but of what use is this...?!". Faraday said plainly, "Sir, this will help you one day in earning taxes....!!".

And that is true today.....! Have a look at our monthly electricity bill.....!!!

हये, वीजचुंबकत्वना इतिहासमां एक नयुं अने खूब ज अगत्यनुं आयाम उभेरावानुं हतुं ते पण एक एवा व्यक्ति द्वारा के जेओओ नबली आर्थिक परिस्थितिने लैने फक्त नाभनुं ज प्रारंभिक औपचारिक शिक्षण प्राप्त कर्युं हतुं. पोतानी अने कुटुंबनी आज्ञविका भाटे फक्त 14 वर्षनी उंभरे तेओओ एक बुक-बाइंडरने त्यां काम भेणव्युं. त्यां 7 वर्ष सुधी काम करतां करतां वद्याराना समयमां विज्ञान विषयक विविध पुस्तकोनुं वांचन-अद्ययन करीने अनोपचारिक रीते ज शिक्षण प्राप्त कर्युं. विज्ञानमां तेमनो रस एटली हटे विकसतो गयो के हये तेमणे पुस्तकोमां वांचेली बाबतो पर प्रयोगो करवानुं शङ्क कर्युं. एटलुं ज नर्हीं पणा पोतानी आंतरसुङ्गथी तेओ नवा नवा प्रयोगो करवा लाग्या. फिलोसोफिकल सोसायटीमां योजाता ब्रिटीश तत्वयिंतक एवा जहोन टेटम तेमज रोयल प्रतिष्ठानमां योजाता प्रण्यात वैज्ञानिक एवा सर हम्झी डेवीना व्याख्यानो सांभग्यानी तक तेओ क्यारेय गुमावता न हता. तेमना व्याख्यानोमांथी तेओने खूब ज प्रेरणा प्राप्त थई हती. तेओ सर हम्झी डेवीना व्याख्यानोनी नोंध पणा करता रहेता. आ नोंधमां पोताना ज़री सुधारा वद्यारा उभेरीने तेमणे एक 300 पानानुं हस्तलिभित पुस्तक तैयार कर्युं अने अग्रस्वीकार करीने सर हम्झी डेवीने ते पुस्तक समर्पित कर्युं. 1813मां ब्रिटननी रोयल प्रतिष्ठान (Royal Institute)नी प्रयोगशाळामां रसायण सहायक तरीके काम भेणव्युं. अने आ रीते विज्ञान जगतने एक प्रभर प्रयोगशाळी, तत्वयिंतक, भौतिकशाळी तेमज रसायणाशाळी एवा माईकल फेराडेनी लेट मली. (जुओ Box)हम्झी डेवी साथे तेमना सहायक तरीके वैज्ञानिक हेतु सर फ्लान्स, स्टिट्क्लरेन्ट, ईटाली, बेल्जियम वगेरे देशोमां भ्रमणा कर्युं. ते दरमियान तेओने अनेक वैज्ञानिक संस्थाओनी मुलाकात तेमज अनेक प्रभावशाळी वैज्ञानिकोने भगवानो भोको भज्यो हतो. पेरिसमां फेराडेनी मुलाकात ऐभियर साथे, ज्यारे भिलानमां तेमनी मुलाकात वोल्टा साथे पणा थई हती. ई.स. 1821मां फेराडेए वीजचुंबकीय परिभ्रमण करतुं साधन (Electromagnetic Rotation Apparatus) विकसाव्युं. ऊर्जा संरक्षण विशेना पोताना घ्यालोना कारणे फेराडे एवुं मानवा तरक्क प्रेसाचा हता के जो विद्युतप्रवाहना कारणे चुंबकीय क्षेत्र उद्भवतुं होय तो चुंबकीय क्षेत्र द्वारा पणा विद्युतप्रवाह उद्भववो जोईयो. आ विचारने केन्द्र स्थाने राखीने तेओओ अनेक प्रयोगो कर्या अने तेना परिपाक रुपे 1831मां फेराडेए विज्ञान अने टेक्नोलोज्युना संदर्भमां एक अत्यंत महत्वपूर्ण एवी “वीजचुंबकीय प्रेरणा (Electromagnetic Induction)”नी घटनानी शोध करी. फेराडे ए सौप्रथम वजत “चुंबकीय बज रेखाओ (Magnetic Lines of Force)”नी पणा संकल्पना आपी हती परंतु, ते समये चुरोपना केटलांक गाइतिक भौतिकविज्ञानीओ आ घ्याल फ्गावी दीघो हतो. (अलबता, पाइण्ठी भेक्सयेले बज रेखाओनी फेराडेनी संकल्पनानो स्वीकार कर्यो हतो.) आम जोईयो तो फेराडे गाइतमां खूब ज नबला हता, परंतु तेओना प्रयोगो अने तेना परिणामो परथी वीजचुंबकत्वना अनेक महत्वना गाइतीय वादो आपणाने प्राप्त थया...! डेवी भजानी वात छे के विद्युतभारोना वहनथी विद्युतप्रवाहनुं निर्भाणा थाय छे अने आ विद्युतप्रवाहना कारणे चुंबकीय क्षेत्र उद्भवे छे..! आम, विद्युतक्षेत्रना उद्भवनुं कारणा विद्युतभार छे अने चुंबकीय क्षेत्रना उद्भवनुं कारणा विद्युतप्रवाह (वहेतो विद्युतभार) छे. चुंबकत्वने संपूर्णपणे त्यां सुधी ना समज शकायुं ज्यां सुधी चुंबकीय प्रेरणानो घ्याल विकस्यो न हतो, ए ज रीते विद्युतने पणा संपूर्णपणे त्यां सुधी ना समज शकायुं ज्यां सुधी विद्युतभारनो घ्याल विकस्यो न हतो.

3. विद्युत अने चुंबकत्वनो समन्वय-नवा युगना भंडारा

विद्युत अने चुंबकत्वनो इतिहास हये निर्णयिक तबक्के पहोचे छे. प्रथम नजरे एकबीजाथी तद्दन भिन्न लागतां जे क्षेत्रो- विद्युत अने चुंबकत्वनो एकबीजा साथे सांकल्पनानो सौप्रथम प्रयत्न आज्ञी अंदाजे टोड्सो वर्ष पहेलां ड्कोटीश गाइतीय भौतिकशाळी जेम्स क्लार्क मेक्सयेले कर्यो हतो. तेमणे विद्युतचुंबकीय विकिरणोनो शाळीय वाद रजू करीने सौप्रथम वजत दर्शाव्युं के विद्युत-चुंबकत्व अने प्रकाश ए एक ज घटनानी विविध अभिव्यक्तिओ छे. आम जोईयो तो आ रीते मेक्सयेल द्वारा भौतिकशाळामां अत्यंत महत्वपूर्ण समन्वय के एकीकरण (Unification) प्रस्थापित थयेल. 1855-56मां फक्त 15 वर्षनी वयो ज मेक्सयेले केम्ब्रिज फिलोसोफिकल सोसायटी समक्ष "On Faraday's Lines of Force" शिर्षक हेठल संशोधन पत्र रजू कर्युं हतुं. आ उपरांत 1861-62मां मेक्सयेल "फिलोसोफिकल मेगेज्जिन एन्ड जर्नल ऑफ सायन्स"मां "On Physical Lines of Force" विषय पर एक लांबु संशोधन पत्र प्रकाशित कर्युं हतुं, जेमां तेओओ ते समयमां विद्युत अने चुंबकत्व विशेना प्रवर्तमान ज्ञानने द्वारा गाइतिक स्वप्ने रजू कर्या हतां. 1862मां मेक्सयेल ज्यारे लंडननी किंग्ज कोलेज खाते व्याख्यान आपी रह्या हता. त्यारे तेमने विद्युत-चुंबकीय तरंगोना प्रसरणानी झक्पनी गाणतरी करी हती, जे आशरे प्रकाशनी गतिनी झक्प जेटली ज हती. 1864मां रोयल सोसायटीमां "A Dynamic Theory of Electro-Magnetic Field" विषय पर आपेल प्रण्यात वक्तव्यमां मेक्सयेले ईलेक्ट्रोडायनेमिक्सनां सभीकरणोनी समज आपतां कछुं हतुं के “प्रकाश सहित अन्य विकिरणो ए विद्युत-चुंबकीय नियमोने अनुसरतां विद्युत चुंबकीय क्षेत्रो स्वप्ने तरंगो के विक्षेपो ज छे, एवुं भानवा माटेना आपणी पासे सबल कारणो छे.” पाइण्ठी आ ऐतिहासिक पेपर फिलोसोफिकल ट्रान्सेक्शन ऑफ रोयल सोसायटी, लंडनमां 1865मां प्रकाशित थयुं हतुं, जे विद्युत-चुंबकीय तरंगोना अस्तित्वने दर्शाव्युं सौप्रथम पेपर हतुं.

- $\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ Gauss' Law of Electric Field
- $\nabla \cdot B = 0$ Gauss' Law for Magnetism
- $\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t}$ Faraday's Law of Induction
- $\nabla \times B = \mu_0 \left(J + \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \right)$ Modified Ampere's Circuital Law



James Clark Maxwell (1831-1879) was a Scottish theoretical physicist who brought forth a profoundly important unification of electricity and magnetism into electromagnetism, through the four equations of electrodynamics. This was the second epoch-making unification in Physics, after the first one was realized by Isaac Newton in the form of universal law of gravitation.

SI એકમ પદ્ધતિમાં “‘મેક્સવેલના ઇલેક્ટ્રોડાયનેમિક્સનાં સમીકરણો’” તરીકે જગાવિખ્યાત વિકલ સમીકરણો ઉપર boxમાં આપેલ છે.

નવાઈની વાત એ છે કે આજના મેક્સવેલ સમીકરણો કરતાં મેક્સવેલે આપેલા અસલ સમીકરણો બિનન સ્વરૂપનાં હતાં. હકીકતમાં આધુનિક સ્વરૂપમાં જોવા મળતાં મેક્સવેલ સમીકરણો તો બ્રિટીશ ગાન્ધિતશાસ્ત્રી અને ભૌતિકશાસ્ત્રી ઓલિવર હેવીસાઇડ (Oliver Heaviside)એ આપ્યાં હતાં. મેક્સવેલે આપેલા અસલ સમીકરણોમાં 20 જેટલા ચલોને સાંકળતાં કુલ 20 સમીકરણો હતા. હેવીસાઇડી સંદર્ભ કલનશાસ્ત્રના કારકો curl અને divergenceનો ઉપયોગ કરીને આ 20 સમીકરણો પૈકીના 12 સમીકરણોને ફક્ત ચાર ચલો E, B, J અને ρ ને સમાવતાં આધુનિક સ્વરૂપમાં જોવા મળતાં ચાર સરળ સમીકરણો રહ્યાં, જે હવે મેક્સવેલના સમીકરણો તરીકે ઓળખાય છે. હેવીસાઇડ અને બીજા કેટલાંક સમકાળીન વૈજ્ઞાનિકો એવું દઢ રીતે માનતા હતા કે વીજાચુંબકત્વને સમજવા માટેનો મેક્સવેલનો અભિગમ એકદમ ચોગ્ય હતો, પરંતુ મેક્સવેલે આપેલા મૂળ સમીકરણો જાટિલતાના કારણે ઉપયોગમાં લેવાં મુશ્કેલ હતાં. હવે આજે કોઈ વિદ્યાર્થી પરીક્ષામાં મેક્સવેલના સમીકરણો તેના મૂળ કર્તાએ આપેલાં સ્વરૂપમાં લખે તો... કદાચ તે નાપાસ થાય...!

આ મેક્સવેલ સમીકરણો વિદ્યુતક્ષેત્ર અને ચુંબકીયક્ષેત્ર કેવી રીતે ઉદ્ભવે છે તેમજ એકબીજા દ્વારા કેવી રીતે ફેરફાર પામે છે તેનું વર્ણન કરે છે. Box itemમાં સમીકરણ (1) વિદ્યુત ક્ષેત્ર માટેનો ગાઉન્ડનો નિયમ દર્શાવે છે. આ નિયમ વિદ્યુતભાર અને તેના કારણે ઉદ્ભવતા સ્થિર વિદ્યુત ક્ષેત્ર વર્ણનો સંબંધ આપે છે. સમીકરણ (2)એ ચુંબકત્વ માટેનો ગાઉન્ડનો નિયમ દર્શાવે છે. જે મુજબ સ્વતંત્ર ચુંબકીય ધૂવો (Magnetic Monopoles) અસ્થિત્વ ધરાવતા હોતા નથી, જો કે આજના ચુગામાં તે શોધખોળનો કોચડો બનેલ છે. સમીકરણ (3)એ ફેરાડેનો ચુંબકીય પ્રેરણનો નિયમ દર્શાવે છે; જ્યારે સમીકરણ (4) એ મેક્સવેલના સુધારા સાથેનો એભિયરનો નિયમ દર્શાવે છે. આ મેક્સવેલના સમીકરણો એવાં વિદ્યુત-ચુંબકીય તરંગોના અસ્થિત્વની આગાહી કરે છે જેની શૂન્યાવકાશમાં ઝડપ

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad \text{મળે છે, જે પ્રકાશની શૂન્યાવકાશમાં ઝડપ જેટલી જ હોય છે...! (અહીં μ_0 એ શૂન્યાવકાશની પારગમ્યતા અને ϵ_0 એ શૂન્યાવકાશનો પરાવૈદ્યુતાંક છે.)$$

ઉપર લખેલ ટચુકડાં એવાં સમીકરણનું લાલિત્ય (elegance) જુઓ...! તેની ડાબી બાજુ “C” એ પ્રકાશ-શાસ્ત્ર (Optics)નું પ્રતિનિધિત્વ કરે છે. જમણી બાજુના અચળાંકો વિદ્યુત-ચુંબકત્વના સંચુક્ત ધોતક છે. અને ભૌતિકશાસ્ત્રની ત્રણોય શાખાને એકસુત્રે બાંધે છે આ સમીકરણ...! વધુમાં અહીં “C” એ માત્ર ક્રશ્ય પ્રકાશ જ નહીં, કોઈપણ વીજ-ચુંબકીય તરંગોનો મુક્ત અવકાશ (Free Space) માં વેગ છે.

મેક્સવેલ સમીકરણો દ્વારા પ્રત્યેક વિદ્યુત-ચુંબકીય ઘટનાઓને સમજાવી શકાય છે. “વિદ્યુત-ચુંબકીય ઘટના” જેવું આપવામાં આવેલું નામ ભલે તે વખતે જરા ઉટપટાંગ લાગતું હોય પરંતુ આજના આપણા રોજબરોજના જીવનમાં આવી અનેક વિદ્યુત-ચુંબકીય ઘટનાઓ વણાયેલી જોઈ શકીએ છીએ. જેમ કે, આપણી આસપાસના વિશ્વને આપણે જેના થકી જોઈ શકીએ છીએ તે પ્રકાશ તેમજ રેડિયો કે

ટેલિવિજન જે આપણને મનોરંજન પુરું પડે છે. આજે આપણે જેના થકી એકબીજા સાથે જોડાયેલા રહી શકીએ છીએ તેવા મોબાઇલ સિઝલો સુદ્ધાં આ વિદ્યુત-ચુંબકીય તરંગોને આભારી છે. આમ જોઈએ તો બૌતિકશાસ્ત્ર અને ટેકનોલોજીના વિવિધ ક્ષેત્રોમાં આ સમીકરણોનો ઉપયોગ થતો હોય તેવી બાબતોની ચાદિ ઘણી લાંબી થાય. આજના જમાનામાં બૌતિકશાસ્ત્ર ઉપરાંત ગાળિતશાસ્ત્ર તેમજ એન્જિનિયરીંગના અભ્યાસમાં વીજચુંબકત્વનો સમાવેશ કરવામાં આવે છે.

મેક્સાવેલ એ 19મી સદીના એક એવા ઊંચા ગજના બૌતિકશાસ્ત્રી હતા; 20મી સદીના બૌતિકશાસ્ત્ર ઉપર પણ તેમનો ખૂબ જ પ્રભાવ હતો, આ મેક્સાવેલ સમીકરણોનો મહિમા સમજાપતાં ખૂદ આઈન્સ્ટાઇન કહું હતું કે “વિશિષ્ટ સાપેક્ષવાદ (Special Theory of Relativity)ના મૂળમાં વિદ્યુત-ચુંબકીય ક્ષેત્રના મેક્સાવેલનાં સમીકરણો છે.” મેક્સાવેલના સૈદ્ધાંતિક કાર્યથી બૌતિકવિજ્ઞાનમાં એક નવા ચુગના મંડાણ થયાં. 1879માં તેમના અવસાન બાદ 1888માં જર્મન બૌતિકશાસ્ત્રી હેનરિક કુડોલ્ફ હિંગ્લે dipole antenna જેવાં સાધનથી રૈકીયો તરંગો ઉત્પન્ન કરી બતાવ્યાં. બીજી બાજુ બ્રિટીશ હક્કુમત હેઠળનાં ભારતમાં 1895ના અરસામાં જગદીશચંદ્ર બોઝ પણ આવાં તરંગો ઉત્પન્ન કરવામાં સક્ષણ થયા.

19મી સદીના છેલ્લા બે દાયકામાં એક તરફ અમેરિકામાં ઔદ્યોગિક વિકાસ તેની ચરમ સીમાએ હતો એ જ અરસામાં થોમસ એડિસન અને નિકોલા ટેસ્લા વચ્ચે, લોકોના ઘરો અને ઔદ્યોગિક સ્થળોમાં વીજળી પહોંચાડવા માટેની DC અને AC પ્રવાહ પેકીની કદ ટેકનોલોજીનો ઉપયોગ કરવો વધુ બહેતર અને હિતાવણ છે, તેના સંદર્ભે જબરદસ્ત જ્ઞાનતંત્ર ચુંબક ચાલ્યું હતું. આ “War of the nerves” (કે War of currents!)માં અંતે નિકોલા ટેસ્લાના AC પ્રવાહનો વિજય થયો હતો. હવે 20મી સદીના પ્રાગાડ ફૂટી રહ્યા હતા. અને તેની વૈજ્ઞાનિક વાર્તા માંડીએ તો તો એક નવો લેખ લખવો પડે, માટે અસ્તુ.

Lightning and thunder One would wonder....!

Lightning and thunder in rain clouds are the earliest natural phenomena observed on the earth, and even today they are not fully understood. When water vapour (being lighter than air) rises up and condenses, it eventually forms the rain cloud containing small bits of ice. Somewhat like electric charges produced by friction or rubbing, collisions among the cloud particles caused by turbulence result into separate positive and negative charges. The huge build-up of charge continues until there is an electrical break down and a sudden strong electric discharge occurs. The charged particles released, including electrons, heat up the nearby air so much so that the air molecules are excited and they emit light. In the process the molecules like N₂ and O₂ are dissociated into their atoms, which form various oxides that dissolve in rain drops and reach ground. Besides, the pressure waves generated along the path of the lightning bolt create a big sound i. e. thunder.

Electrically charged cloud up there induces opposite charge on the ground, and what we have is a big 'capacitor'. When moist air in between occasionally yields to electrical break-down, the lightning strikes the ground.

ફોટોનીક્સ-21મી સદીની ટેકનોલોજી (Photonics- the 21st century technology)

Prof. V.P.N. Nampoori
And
Dr. Manu Vaishakh
International School of Photonics
Cochin University of Science & Technology,
Cochin-Kerala

અનુવાદક:

ડૉ. દીપક ચૌથા. ગદાશ્રી
ફિઝિક્સ વિભાગ, સ્કૂલ આંફ સાયંસીઝ
ગુજરાત યુનિવર્સિટી, અમદાવાદ

20મી સદી એ ઇલેક્ટ્રોનીક્સની સદી હતી, તો 21મી સદી ફોટોનીક્સની થવા જઈ રહી છે. ઇલેક્ટ્રોનીક્સથી ફોટોનીક્સ તરફનો વિકાસ એ એક અદ્ભુત જીવાલાયક વૈજ્ઞાનિક વિકાસ છે, અને એ હવે જગતને પ્રભાવિત કરે છે. ફોટોનીક્સની ઝલક આપવાનો અને પ્રયાસ કરેલ છે.

અમેરિકન વિચારક થોમસ કુહનના મતે વિજ્ઞાનની પ્રગતિ કાન્નિઓથી થઈ છે, અને તે દરેકમાં વિજ્ઞાન તેમજ ટેકનોલોજીની નવી દિશાઓ ખૂલ્યા પામી છે. તે અંગેના ઉદાહરણો નોંધીએ તો 19મી સદીમાં વિદ્યુતગોળા જેવી શોધો, 20મી સદીમાં પ્લાંકનો કવોન્ટમવાદ, આઈન્સ્ટાઇનના બે સાપેક્ષવાદો અને છેલ્લે છેલ્લે ઇલેક્ટ્રોનિક ચીપ, લેસર-કિરણો ઉપરાંત કેઓસ (chaos) જેવી વિભાવનાઓ વગેરેને ગાણી શકાય.

1960માં લેસરની શોધ પછી વિજ્ઞાન અને ટેકનોલોજીમાં ધરખમ ફેરફારો આવ્યા છે, જેનાથી ફક્ત વિજ્ઞાન જગત જ નહીં પરંતુ સમગ્ર માનવજાત પ્રભાવિત થઈ છે. આજના સમયમાં માણસનું કોઈપણ કાર્ય એવું નહીં હોય કે જે પ્રકાશના કૃત્રિમ સોત લેસર વડે પ્રભાવિત ન થયું હોય. વિજ્ઞાન અને ટેકનોલોજીના આ ઉત્કાંતિકાળ દરમ્યાન ‘ફોટોનીક્સ’ નામનું એક પરિમાણ ઉભરી આવ્યું છે. ખરેખર તો કવોન્ટમ ઇલેક્ટ્રોનીક્સ, પ્રકાશીય ઇલેક્ટ્રોનીક્સ અને તે પરથી કમશા: ‘ફોટોનીક્સ’ નવું નામ આવ્યું છે. લેસર ટેકનોલોજીના વિકાસને સમાંતર ઓપ્ટીકલ ફાઈબર્સ (પ્રકાશ રેખાઓ)નો પણ વિકાસ થતો ગયો છે. લગભગ 150 વર્ષની આકરી તપશ્ચર્યા પછી ઓપ્ટીકલ ફાઈબર્સની શોધ સેંદેશાચ્ચવહાર અને સંયોજન પ્રણાલિઓની દિશા બદલી નાખી છે. લેસર્સ અને ઓપ્ટીકલ ફાઈબર્સ મળીને જે ટેકનોલોજી રચાય છે, એ છે Photonics.

ફોટોનીક્સ શું છે ?

આ જાણે કે એક પ્રકારનું ઇલેક્ટ્રોનીક્સ હોય એમ લાગે છે... ખરું ને ! આપણે જાણીએ છીએ કે વાહકમાંથી પસાર થતાં ઇલેક્ટ્રોન વિદ્યુત પ્રવાહ રેચે છે. જુદા જુદા પ્રકારના પદાર્થોમાંથી ઇલેક્ટ્રોન પસાર કરવા માટે જુદા જુદા રસ્તાઓ છે. સામાન્ય રીતે વિદ્યુત પરિપથમાં ઇલેક્ટ્રોન વાહકમાંથી પસાર થાય છે તે દરમ્યાન અવરોધકો, સ્વીચ, કેપેસીટર્સ, ઇન્કકટર્સ વગેરે ઘટકો તેમના માર્ગમાં હોય છે. આમ ગતિમાન ઇલેક્ટ્રોનની ક્ષમતા/શક્તિનો ઉપયોગ કરીને એમિલફાર્કર્સ, ઓસીલેટર્સ, ડીસ્પ્લે (પ્રદર્શક) ઉપકરણો, આનંદ-વિનોદ માટેના વિદ્યુત ઉપકરણો વગેરે ચલાવી શકાય છે. ઇલેક્ટ્રોનનો પ્રવાહ ઉત્પન્ન કરી, તેનું નિયંત્રણ કરીને જુદા જુદા પ્રકારના વિદ્યુત પરિપથ તૈયાર કરવા માટેનું શાસ્ત્ર એટલે ઇલેક્ટ્રોનીક્સ.

હવે આપણે પ્રકાશ કરણો (ફોટોન) વિશે ચર્ચા કરીશું. પ્રકાશનો ગોળો કે સોત ચાલુ કરીને આપણે ફોટોન ઉત્પન્ન કરી શકીએ. આ ફોટોનના પ્રવાહને નિયંત્રિત કરવા માટે આપણે લેન્સ, અરિસા, પ્રકાશ શેરડા વિભાજક (બીમ સ્પલિટર) તેમજ ખોલ-બંધ કરવાની કળ (શાર્ટર્સ)નો ઉપયોગ કરી શકીએ છીએ, જેના દ્વારા આપણે ઉપયોગી સાધનો જેવાં કે રીમોટ સેન્સર ઇત્યાદિ બનાવી શકીએ છીએ. રીમોટ



સેન્સર્સનો ઉપયોગ કરીને આપણો ટેલીવીડ્ઝન પ્રણાલિ કાર્યાન્વિત કરી શકીએ છીએ. આમ પ્રકાશ-કળા-શાસ્ત્ર photonics એક પ્રકારે વિજ્ઞાન તેમજ ટેકનોલોજી છે કે જેમાં પ્રકાશિય કણોની ઉત્પત્તિ, તેમનું ઉત્સર્જન, પ્રચલન અને ચોગચ રીતે તેમની ગતિનું નિયંત્રણ કરીને વિવિધ ઉપકરણો બનાવી શકાય. વળી, વિદ્યુત પરિપથોની જેમ આપણી પાસે પ્રકાશ કણ આધારિત પરિપથો પણ હોઈ શકે. જે રીતે, અતિ સૂક્ષ્મ વિદ્યુત પરિપથોને કોઈ આધાર-પટ (substrate) પર અંકિત કરતું ઇન્ટીગ્રેટેડ 'ઇલેક્ટ્રોનિક્સ' વિકાસ પામ્ચું છે, તે જ રીતે 'ફોટોન'ને નિયંત્રિત કરતાં સૂક્ષ્મ ઉપકરણો (ફોટોનિક ચીપ્સ) પર આધારિત ઇન્ટીગ્રેટેડ ફોટોનિક્સ પણ વિકાસ પામી રહ્યું છે. જેવી રીતે પ્રકાશશાસ્ત્ર (optics) એ પ્રકાશનું વિજ્ઞાન છે, તે રીતે પ્રકાશકળા-શાસ્ત્ર (ફોટોનિક્સ) એ પ્રકાશની ટેકનોલોજી છે.

લેસર્સની શોધ પછી પ્રકાશ વિજ્ઞાનની એક નવી શાખાનો ઉદ્ય થયો છે. જેને અરેખીય પ્રકાશ વિજ્ઞાન non-linear optics કહે છે; જે આગળ વધીને પ્રકાશકળા-શાસ્ત્ર તરીકે વિકાસ પામ્ચું છે. ધારો કે એક જ તરંગલંબાઈના બે પ્રકાશ શેરડાઓ બરોબર એકબીજાની સામે આવે તો શું થાય ? કશું જ નહીં, જાણો કે આજુભાજુમાં કાંઈ જ ન હોય તેમ તે બજે એ જગ્યાએથી પસાર થઈ જાય છે. શું એવું શક્ય છે, કે એક તરંગલંબાઈના બે પ્રકાશ કિરણો બેગાં થઈને બીજી કોઈ તરંગલંબાઈનું પ્રકાશ કિરણ બને ?! એ ત્યારે જ શક્ય બને કે જ્યારે પ્રકાશના બજે કિરણોનું સંચોજન અરેખીય (non-linear) હોય. આમ આગળ ચર્ચા કરતાં પહેલાં અરેખીય પ્રકાશનું વિજ્ઞાન સમજી લઈએ.

અરેખીય પ્રકાશ વિજ્ઞાન (Non-Linear Optics-NLO)

પ્રકાશ એ લંબગત વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ છે તે દર્શાવતો મેક્સિવેલનો વાદ એ ન્યુટન કે આઈનસ્ટાઈનના ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં પ્રદાન જેટલો જ અગત્યનો છે. શુન્યાવકાશમાં વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો માટેના મેક્સિવેલના સમીકરણો આ મુજબ છે.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0, \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad \vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (1)$$

આ સમીકરણો પરથી દ્વિતીય ક્રમનું વિકલ સમીકરણ બને છે, જે આ રહ્યું.

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

સમીકરણ (2) વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું (પ્રકાશનું) શુન્યાવકાશમાં પ્રસરણ દર્શાવે છે. પ્રકાશને ધૂવીભૂત કરી શકાય છે, તેનો મતલબ એ થાય કે તે લંબગત તરંગ છે. મેક્સિવેલનું આ સમીકરણો (1) દ્વારા પ્રદાન એ એક રીતે ડિસ્પ્લેસમેન્ટ ક્ષેત્ર \vec{D} ની સમજૃતિ આપે છે, જે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગના વિદ્યુતક્ષેત્ર દ્વારા પરમાણુ/અણુઓના ધન અને અણા વિદ્યુત ભારોનાં સ્થાનાતર (ડિસ્પ્લેસમેન્ટ) સાથે સંકળાયેલ છે. વિદ્યુતક્ષેત્રના કારણો અણુઓમાં વિદ્યુત દ્વિદ્યુતીઓ ઉદ્ભવે છે. વિદ્યુતક્ષેત્રના કારણો અણુઓમાં વિદ્યુત દ્વિદ્યુતીઓ electric dipoles ઉદ્ભવે છે તથા એકમ કદમાં રહેલ વિદ્યુત દ્વિદ્યુતી ચાકમાત્રા પોલેરાઇઝેશન \vec{P} દર્શાવે છે. ડાઈલેક્ટ્રિક મદ્યમમાં ડિસ્પ્લેસમેન્ટ ક્ષેત્ર \vec{D} નું સૂત્ર $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$, જ્યાં $\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$

આથી $\vec{D} = \epsilon_0 (1 + \chi) \vec{E} = \epsilon \vec{E}$, જ્યાં ϵ એ માદ્યમનો ડાઈલેક્ટ્રિક અચળાંક છે. માદ્યમ માટે સમીકરણ (2) બને છે, $\nabla^2 \vec{E} - \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$ જ્યાં $n = \frac{c}{v}$ એ માદ્યમનો વકીભવનાંક છે તથા v એ માદ્યમમાં પ્રકાશનો વેગ છે. વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની પ્રકૃતિ આ દ્વિતીય ક્રમના રેખીય વિકલ સમીકરણ વડે સમજી શકાય છે. આ સમીકરણનો ઉપયોગ કરીને પરાવર્તન વકીભવન, વિવર્તન જેવી ઘટનાઓનો અભ્યાસ એટલે આપણું સીધું સાદુ રેખીય પ્રકાશશાસ્ત્ર linear optics ! ખરેખર પ્રકાશની દ્વારા સાથેની કિયા-પ્રતિકિયા પોલેરાઇઝેશન \vec{P} ની વ્યાખ્યા પરથી \vec{P} અને \vec{E} વર્ચેના રેખીય સંબંધ દ્વારા દ્વિતીય ક્રમના રેખીય વિકલ સમીકરણ વડે સમજી શકાય છે.

પ્રકાશ અને દ્રવ્ય વચ્ચેની આંતરકિયાની ચર્ચા લેસરની શોધ પહેલાં અને પછી, એમ બે તબક્કામાં સમજવી જરૂરી છે. લેસરની શોધ પહેલાંની વાત કરીએ તો અસુસંબંધ (incoherent) વિકિરણનાં આંદોલન કરતાં વિદ્યુત ક્ષેત્રની તીવ્રતા લગભગ 10^5 – 10^7 V/m જેટલી હોય છે. જેની સામે પરમાણુમાં નાભિ (ન્યુક્લિઅસ) દ્વારા ઈલેક્ટ્રોનને અનુભવાતું આંતરિક વિદ્યુતક્ષેત્ર 10^8 – 10^{10} V/m ના કમનું હોય છે. આમ આ આંતરિક વિદ્યુતક્ષેત્ર સામાન્ય પ્રકાશ-તરંગનાં વિદ્યુતક્ષેત્ર કરતાં લગભગ 10^3 ગણું વધારે હોય છે. આથી સામાન્ય પ્રકાશનું વિદ્યુત ક્ષેત્ર પરમાણુમાં રહેલા વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રોનને જરા પ્રક્ષુબ્દ કરે છે, જેમાં વિકિરણનું ઉત્સર્જન કે શોષણ થતું હોય છે. આજના જમાનામાં Nd-YAG સ્પાંડિટ (pulsed) લેસર અને રૂબી લેસર જેવાં પ્રકાશના ઉદ્ગમો વડે ઉત્સર્જિત પ્રકાશનું નીજુ વિદ્યુતક્ષેત્ર 10^{10} – 10^{12} V/m જેટલું પ્રબળ હોય છે જે પરમાણુમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રોન વડે અનુભવાતા આંતરિક વિદ્યુતક્ષેત્ર કરતાં પણ વધારે હોય છે. આ પ્રકારનું સ્કેન્ઝિટ કરેલ લેસર કિરણ પરમાણુઓનું આચનીકરણ (આચોનાઈઝેશન) કરીને પ્લાર્ભા ઉત્પન્ન કરવાની ક્ષમતા પણ ધરાવે છે. આ કિસ્સામાં માદ્યમમાં ઉદ્ભવતાં પ્રેરિત પોલેરાઇઝેશન \vec{P} ને \vec{E} ના બહુપદી સમીકરણ $P = \varepsilon_0 \chi^{(1)} E + \varepsilon_0 \chi^{(2)} E^2 + \varepsilon_0 \chi^{(3)} E^3 + \dots$ વડે દર્શાવી શકાય. બીજુ રીતે કહેતાં, $P = P_L + P_{NL}$ જ્યાં $P_L = \varepsilon_0 \chi^{(1)} E$ અને P_{NL} એ બાકીના બધા અરેખીય પદ દર્શાવે છે. આ અભિવ્યક્તિને મેક્સસેલના સમીકરણમાં મુક્તાં આપણાને દ્વિતીય કમનું અરેખીય વિકલ સમીકરણ મળે છે, અર્થાત્

$$\nabla^2 E - \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 P_{NL}}{\partial t^2} જે અરેખીય પ્રકાશશાસ્ત્રનો પાચો દર્શાવે છે.$$

અનંતશ્રેણી $P = \varepsilon_0 \chi^{(1)} E + \varepsilon_0 \chi^{(2)} E^2 + \varepsilon_0 \chi^{(3)} E^3 + \dots$ એ અભિસારી (કોન્વર્જિંગ) શ્રેણી છે, આથી

$$\frac{\chi^{(n+1)}}{\chi^{(n)}} \ll 1$$

ધારો કે $\chi^{(1)}$ નું મુખ્ય 1 એકમ હોય તો $\chi^{(2)}$ લગભગ 10^{-14} ના કમનું, $\chi^{(3)}$ લગભગ 10^{-40} ના કમનું વગેરે હોય છે. લેસરની શોધ પહેલાં આ અરેખીય પદો અવગાણ્ય હતાં, જે લેસરના કિસ્સામાં હ્યે અવગાણ્ય શકાય તેમ નથી. અરેખીય પોલેરાઇઝેશનમાં આવતા પદને અનુલક્ષીને પ્રકાશની બીજા કમની અરેખીયતા, કે ત્રીજા કમની અરેખીયતા વગેરે હોઈ શકે. ઉદાહરણ તરીકે $P_{NL}^{(2)} = \varepsilon_0 \chi^{(2)} E^2$ પદ પરથી પ્રકાશની બીજા કમની અરેખીયતાનો ખ્યાલ આવે છે. વળી, $E = E_0 e^{\hat{j}\omega t}$ ($j = \sqrt{-1}$) હોવાથી પ્રકાશનું બીજા કમનું અરેખીય પોલેરાઇઝેશન ધરાવે છે, જે $2w$ આવૃત્તિ ધરાવતું હોય છે. એટલે કે 800 nm તરંગાંબાઈ ધરાવતું લેસર કિરણ અરેખીય સ્ક્ફીકમાંથી પસાર થતાં બીજા કમનું અરેખીય પોલેરાઇઝેશન અનુભવીને 400 nm તરંગાંબાઈનો ઘટક ઉત્પન્ન કરે. તે જ રીતે જુદી જુદી આવૃત્તિના બે લેસર કિરણો સ્ક્ફીકમાંથી પસાર થતાં આ આવૃત્તિઓના સરવાળા અને બાદબાકી જેટલી આવૃત્તિનાં કિરણોના રૂપમાં મળે. આ એક નવીનતા છે, જે ખાસ નોંધીએ. વધુમાં આપણે પ્રકાશની ત્રીજા કમની અરેખીયતા જોઈએ તો $P_{NL}^{(3)} = \varepsilon_0 \chi^{(3)} E^3$ માં વકીભવનાંક (n) પર લેસર કિરણની તીવ્રતા I ની થતી અસર મહત્વની છે. આપણે એમ લખી શકીએ કે, $n(I) = n_0 \pm n_2 I$. વકીભવનાંકના અરેખીય ઘટક n_2 નું ચિહ્ન ધન કે અણ હોઈ શકે. શોષક મદ્યમમાં n સંકર સંખ્યા હોય છે જેમાં ગાનો કાલ્પનિક (imaginary) ઘટક શોષણ આંક સાથે સંકળાયેલ હોય છે. આમ, જો $n_2 < 0$ હોય તો તીવ્રતા I વધારતાં વકીભવનાંક અને તેથી શોષણ આંક શૂન્ય થાય છે. એટલે કે અમુક કાનિક (threshold) તીવ્રતાથી વધારે તીવ્રતા I માટે માદ્યમ પારદર્શક બને છે, જ્યારે તેનાથી ઓછી તીવ્રતા માટે તે અપારદર્શક બને છે. આ કિસ્સો એક સંતૃપ્ત (સેચ્યુરેશન) શોષણ દર્શાવે છે, અને આ પ્રકાશના માદ્યમને ‘સંતૃપ્તીય’ શોષકો કહે છે. તેથી ઉલટું જો $n_2 > 0$ હોય તો તીવ્રતાના વધારા સાથે શોષણાંક વધે છે કે જેથી આવું માદ્યમ ઉંચી તીવ્રતા માટે અપારદર્શક બને છે.

પ્રકાશની ઓછી તીવ્રતા માટે અપારદર્શક/પારદર્શક હોય જથી વધુ તીવ્રતા માટે પારદર્શક/અપારદર્શક હોય, તેવા ફોટોનીક પદાર્થો ઉપલબ્ધ છે. ઉપર દર્શાવેલ પ્રકાશીય પદાર્થો કે માદ્યમોનો ઉપયોગ પ્રકાશીય logic gates (તાર્કિક દ્વાર) બનાવવા માટે થઈ શકે. વિજાણુશાસ્ત્રમાં આપણે લોજિક ગેઇટ્સ વિશે જાણીએ છીએ. આપણે પ્રકાશના બે તરંગ સ્કેનોનો ગુણોત્તર આ રીતે રૂચી શકીએ. ધારો કે A અને B એ બે પ્રતિબિંબો (images) છે જેમને અનુરૂપ પ્રસરણ (transmission) આંક T₁ અને T₂ છે. હવે, જેના પ્રકાશની તીવ્રતા I₀ હોય એવું લેસર કિરણ આ બે પ્રતિબિંબોમાંથી પસાર થાય ત્યાર બાદ તેની તીવ્રતા I₀T₁, T₂ જેટલી થશે. આઉટપુટ (પ્રદાન-નિપણ)

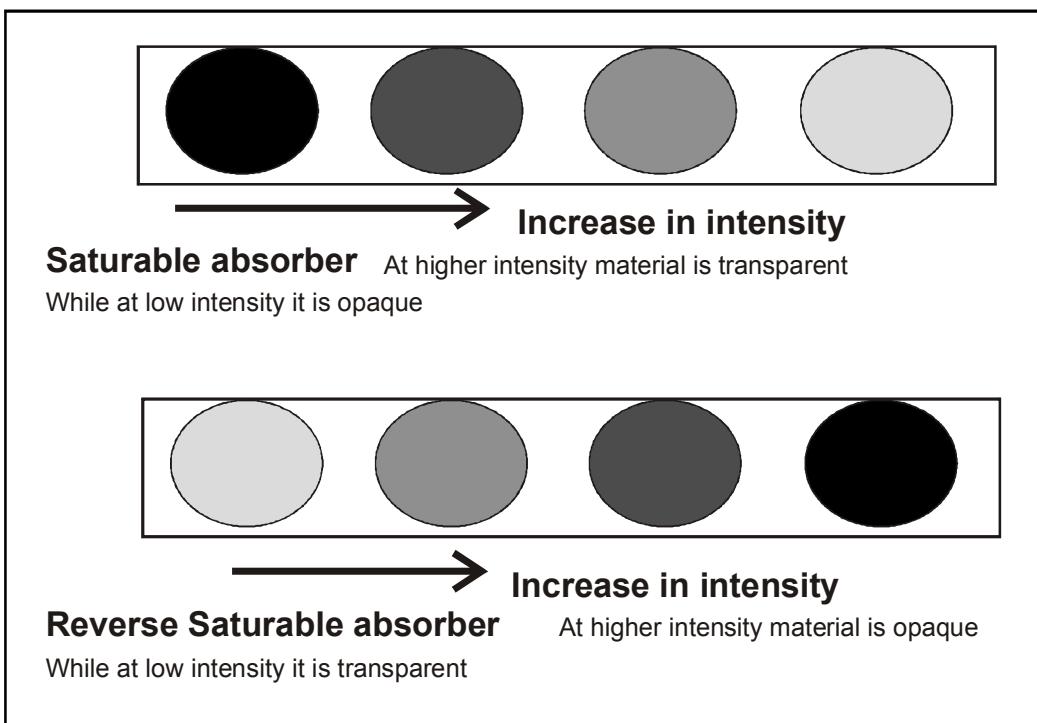


અને ઈનપુટ (આદાન) તીવ્રતાઓના ગુણોત્તર પરથી આપણને I_1 , I_2 મળે, જે બે પ્રકાશ સેક્ટોનો ગુણાકાર બતાવે છે. આપણે આ ગુણાકારને પદ્ધતિસર AND ગેઈટના સત્યાર્થી કોષ્ટક (truth table) વડે દર્શાવી શકીએ. જો I_1 , અને I_2 તીવ્રતાના તરંગ સેક્ટો બીમ સ્પલિટર beam splitterમાં ભેગા થાય તો તેનો આઉટપુટ આપણે પ્રકાશીય OR ગેઈટના કોષ્ટક વડે દર્શાવી શકીએ. આમ optical logic gateનો ખ્યાલ સાકાર થાય છે.

હવે ધારો કે આપણે પ્રકાશના અરેખીય દ્રવ્ય પદાર્થ (NLO material)ને આઉટપુટ પર રાખીએ છીએ. આ પ્રકારનું માદ્યમ સંતૃપ્ત શોષક હોય તો પ્રકાશની કાન્નિ તીવ્રતાથી વધુ મુલ્ય માટે તે પારદર્શક હો અને તેથી ઓછી તીવ્રતા માટે અપારદર્શક હો. 'OR' ગેઈટ પ્રકારના માદ્યમ માટે ધારો કે I_1 , અને I_2 અલગપણે કાન્નિ તીવ્રતા કરતાં ઓછાં મુલ્યો છે. પણ સરવાળો $I_1 + I_2$ એ કાન્નિ તીવ્રતા કરતાં વધુ થાય છે. આમ, $(I_1 + I_2)$ ના કિસ્સામાં અરેખીય પ્રકાશ માદ્યમ પારદર્શક હોવાથી આપણને 'AND' ગેઈટ પ્રકારનું સત્યાર્થી કોષ્ટક મળે છે. જો આપણે અરેખીય પ્રકાશ માદ્યમ એ પ્રકારનું રાખીએ કે જે પ્રતિસંતૃપ્ત (reverse saturable) શોષક હોય, તો તે પ્રકાશની વધુ તીવ્રતા માટે અપારદર્શક અને ઓછા પ્રકાશ માટે પારદર્શક માદ્યમ હોય છે. (જુઓ આફ્ટિ-1). બીજા પ્રકારની લાક્ષણિકતા XOR ગેઈટમાં હોય છે. આમ આપણે NOT, NOR, NAND વગેરે પ્રકારના ગેઈટની લાક્ષણિકતા ધરાવતા અરેખીય પ્રકાશ માદ્યમોનો ઉપયોગ કરીને પ્રકાશ વડે સંચાલિત કોમ્પ્યુટર optical computerની રૂચના વિચારી શકીએ.

અંતમાં આપણે આ પ્રકારના ગેઈટને એકજ પદાર્થ માદ્યમમાં એકનીજાને સાંકળીને વિદ્યુત ચીપ જેવી રૂચના બનાવી શકીએ, જે પ્રકાશીય IC કે optical chip તરીકે વર્તે. આનો સાર એટલો કે નજીકના ભવિષ્યમાં ફોટોનીક્સ એ ધીમે ધીમે ઇલેક્ટ્રોનીક્સનો વિકલ્પ પુરો પાડશે.

20મી સદી બલે ઇલેક્ટ્રોનીક્સની હતી, પરંતુ 21મી સદી ફોટોનીક્સની હતે.



આફ્ટિ-1

અનુનાદ- એક સર્વિવ્યાપી ઘટના

ડૉ. તરુણ આર. ત્રિવેદી
ભૌતિકવિજ્ઞાન વિભાગ
બાળન્સ કોલેજ, ડાકોર

ભૌતિકવિજ્ઞાન અને ટેકનોલોજીના વિવિધ ક્ષેત્રોમાં અનેક રીતે પ્રગત થતી ઘટના એટલે અનુનાદ. જોકે એક લેખમાં તેને સમગ્રપણે આવરી લઈ શકાય નહીં, પરન્તુ અહીં તેનો વ્યાપક ચિત્તાર જરૂર મળશે.

1. પ્રાસ્તાવિક

જૂન 10, 2000ના રોજ લંડન શહેરની થેમ્સ નદીના કિનારે નવા બંધાવેલ 'Millenium Bridge'ના લોકાર્પણ વિધિમાં ભાગ લેવા હજારો નાગરિકો ઉમટી પડ્યા હતા. 320 મીટર લાંબો આ મનોરમ્ય બ્રિજ, પદયાત્રીઓ માટે બાંધવામાં આવ્યો હતો અને વિશ્વના શ્રેષ્ઠ સ્થપતિઓ તેમજ ઇજનેરોએ રક્જ કરેલ ડિઝાઇનમાંથી આ બ્રિજની ડિઝાઇન પસંદ કરાઈ હતી. આ બ્રિજનું નિર્માણ એ દસ્તિએ પણ ઐતિહાસિક હતું કે લગભગ એક સદી પછી થેમ્સ નદી પર કોઈ નવા બ્રિજનું નિર્માણ થયું હોય. સવારે ઘડિયાળના દસના ટકોરે જ્યારે બ્રિજ અપરાજ્યાર માટે ખુલ્લો મુકાયો ત્યારે હજારો નાગરિકોએ આ બ્રિજ પર પદયાત્રા શરૂ કરી. પરંતુ એ શરૂ કર્યાની થોડીક ક્ષણોમાં આ બ્રિજ ભયાનક રીતે ઝૂલવાનું એટલે કે આંદોલિત થવાનું શરૂ કર્યું. બ્રિજ પરથી પસાર થતાં લોકોને સંતુલન જાળવવા પ્રયત્ન કરવો પડ્યો અને કેટલાંક લોકોનાં હોઠ પર બાળપણમાં ગણગાણોલી નર્સરી Rhyme 'London Bridge is falling down...' પણ રાવા લાગી. બાંધકામના નિષ્ણાત ઇજનેરોએ નોંધ્યું કે આ બ્રિજ આંદોલન દરમિયાન પાશ્વ વિસ્થાપનનો (lateral displacement) અનુભવ કરાવતો હતો અને તેનાં આંદોલનની આવૃત્તિ 0.5 Hz થી 1.1 Hz જેટલી નોંધપાત્ર હતી. બાંધકામ ક્ષેત્રના ટોચના ઇજનેરો અને નિષ્ણાંતો માટે આ ઘટના એક કોથડો બની ગઈ અને ત્યારે તેમણે ભૌતિકશાસ્ત્ર તરફ નજર કરી.

ઉપરોક્ત વર્ણિવેલ કિસ્સામાં ભૌતિકશાસ્ત્રની એક ખૂબ જ મહત્વની ઘટના 'અનુનાદ' (Resonance) આકાર લે છે. Resonance એ લેટીન શબ્દ 'resound' પરથી ઉદ્ભવેલ છે જેનો અર્થ 'to sound out together with a loud sound' થાય છે. ભૌતિકશાસ્ત્ર અનુસાર દરેક ભૌતિક પદાર્થ અથવા તંત્ર, પ્રાકૃતિક (natural) કંપનો અથવા દોલનો ઘરાવે છે અને તે દોલનો નિશ્ચિત એક કે વધુ આવૃત્તિથી આંદોલિત થતાં હોય છે. પરંતુ આ કંપનો અથવા દોલનો સૂક્ષ્મ હોવાને કારણે આપણાને નથી આંખે દર્શયમાન નથી અને તેથી આપણે તેને જડ પદાર્થ તરીકે નવાજુએ છીએ. જો આ જડ પદાર્થના પ્રાકૃતિક કંપનો પર બાધ્ય અસરથી કંપનો/દોલનો આપાત કરવામાં આવે અને જો બંને કંપનો એકજ સરખી આવૃત્તિથી કંપિત થાય તો તે કંપનોનો કંપવિસ્તાર મહત્વમાં બને છે અને તે પદાર્થ/તંત્ર મહત્વમાં કંપવિસ્તારથી આંદોલિત થવા લાગે છે. Millenium Bridgeના કિસ્સામાં પણ આમ જ બન્યું. બ્રિજ પરથી પસાર થતાં પદયાત્રીઓનાં ડગલાં ભરવાની આવૃત્તિ અને બ્રિજનાં પ્રાકૃતિક કંપનોની આવૃત્તિ સમાન બનતાં તે બ્રિજ મહત્વમાં કંપવિસ્તારથી આંદોલિત થવા લાગ્યો અને બાંધકામને અસર કરતાં આ પરિબળ 'અનુનાદ' એ સૌને વિચાર કરતાં મૂકી દીધાં. ખૂબ સંશોધનો પછી ઉકેલના ભાગરૂપે આ બ્રિજ પર 91 જેટલા dampers (અવમંદકો) જોડી દેવામાં આવ્યા જેથી બ્રિજનાં કંપનો અવમંદિત (damp) થાય. બે વર્ષ પછી 2002માં આ બ્રિજને લોકોના ઉપયોગ માટે સફળતાપૂર્વક ખુલ્લો મૂકવામાં આવ્યો. અનુનાદ એક આપણિ બનેલ હોય તેનાં અન્ય ઉદાહરણાંપે અમેરિકામાં 1940માં થયેલ Tachoma Bridgeની ઘટના પણ જાણીતી છે. લોંગના જાડા તાર પર લટકતા આ સેતુને પવનનું તોદાન નડ્યું, તાકે તેનાં પ્રણોદિત દોલનો (બાધ્ય પરિબળની અસર હેઠળનાં દોલનો) અને કુદરતી આવૃત્તિઓનો મેળ બરાબર બેસી ગયો.... અને ઘડાકાબેર એ બ્રિજ તૂટી પડ્યો.

મિત્રો, આમ જુઓ તો આપણી ગુજરાતી કહેવત 'ભાવતું' તું અને વૈદ્ય બતાવ્યું....'માં 'ભાવતું' તું એ પ્રાકૃતિક આવૃત્તિ અને 'વૈદ્ય બતાવ્યું' એ બાધ્યબળથી સર્જતી પ્રણોદિત આંદોલનોની આવૃત્તિ ગણાય, ખરું ને ?! આપણાં રોજબરોજના દૈનિક કાર્યોમાં પણ કચારેક અનુનાદની અસર નોંધપાત્ર માત્રામાં જોવા મળે છે. ચાર રસ્તા પર ટ્રાફિક સિઅલ પાસે આપણનું ડ્રિયચ્કી વાહન (સ્કુટર, મોપેડ, બાઇક વગેરે) લઈને ઊભા રહીએ અને જો બારે વાહન પાસે આવીને ઊભું રહે તો તેના કંપનોની અસર હેઠળ આપણનું વાહન પણ કંપવા લાગે છે, જે અનુનાદની અસર દરશાવે છે. ચોમાસાની અતુમાં બારે મેધ ખાંગા થયા હોય ત્યારે અચાનક મેધગર્જનાથી ઘરનાં બારી-બારણાં થોડીક

કષણો માટે અનુનાદની અસર હેઠળ ઘૂજવા લાગે છે. ગાચકના કંઠચ સંગીત દરમિયાન જો ગાચકનાં દવનિ કંપનો અને સામે પડેલા કાચના પ્યાલાનાં પ્રાકૃતિક કંપનોની આવૃત્તિનો સુભેળ સર્જય તો અનુનાદની અસર હેઠળ તે કાચનો પ્યાલો તૂટી પણ પડે છે. 'Opera' પ્રકારનાં પાશ્ચાત્ય સંગીતના દવનિની તીપ્રતા નહીં પરંતુ તેની આવૃત્તિને કારણે તે દવનિની બધી જ ઊર્જા કાચના પ્યાલા પર સંક્રમણ પામે છે અને તેથી તે કાચનો પ્યાલો તૂટી પડે છે. બગીચામાં બાળકને હિંચકા પર જૂલાવવાની કિયા દરમિયાન જૂલાને ઘક્કો મારતી વખતે એટલી જ ઊર્જા વાપરીએ હીએ જેટલી જૂલાની પ્રાકૃતિક આવૃત્તિની ઊર્જા હોય અને તેથી જૂલો લાંબો સમય સુધી 'અનુનાદ'ની અસર હેઠળ તે જૂલ્યા કરે છે. વિજ્ઞાનની પ્રયોગશાળામાં, વિદ્યાર્થીઓ જ્યારે અનુનાદના પ્રયોગનો અભ્યાસ કરે છે ત્યારે હાથમાં કંપિત સ્વરકાંટા (tunning fork)નાં કંપનોની આવૃત્તિ, અનુનાદક નળીમાં રહેલા હવાના ગાળાની આવૃત્તિ જેટલી બને ત્યારે શ્રાવ્ય દવનિ ઉત્પન્ન થાય છે અને તે વિદ્યાર્થી અવલોકન નોંધે છે. વિદ્યાર્થીઓએ રસાયણશાસ્ત્રમાં વપરાતી કસનળીમાં ફૂંક મારીને સિસોટી પણ કચારેક વગાડી હશે....! આ કસનળી (test tube) અનુનાદ સર્જ ત્યારે તેને હેલ્મહોલ્ટ્ઝ અનુનાદક (Helmholtz resonator) તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. કચારેક ખાલી કાચની શીશના મુખ પાસે પણ ધીમેથી ફૂંક મારવામાં આવે તો તે શીશી સીસોટી મારે છે. તમને જાણીને આશ્રય થશે કે તેનો ઉપયોગ મોટરગાડી અને મોટરબાઈકનાં exhaustનું tunning કરવા માટે થાય છે જેથી તે અવાજરહિત કાર્ય કરે છે. વિમાનનો ઘોંધાટ ઓછો કરવા માટે પણ આ Helmholtz resonatorના અભ્યાસનો ઉપયોગ થાય છે. 1862માં Hermann Von Helmholtz નામના વૈજ્ઞાનિકે તેનો અભ્યાસ કરી 'On the sensations of Tone' પુસ્તકમાં તેની વિસ્તૃત છણાવટ કરી હતી.

1960ના ગાળામાં પ્રસિદ્ધ રોક ગીટારીસ્ટ Jimi Hendrix અને Pete Townshend એ 'અનુનાદ'નો સરસ ઉપયોગ કર્યો હતો. જ્યારે સંગીતવાદક ગીટારના તારને ઝણઝણાયે ત્યારે તેની સાથે જોડાયેલ વીજચુંબકીય સાધન આ દોલનોને 'electric pulse'માં ડ્રેંપાંતરિત કરી તેને વિપર્યક (amplifier) પાસે મોકલે છે, જે તેને સ્પીકર તરફ દોરી જાય છે. અહિં જો સ્પીકરની સપાટીની કંપનોની આવૃત્તિ અને ગીટારના તારનાં કંપનોની આવૃત્તિ એક સરખી હોય તો અનુનાદને કારણે, આ pulse માટે પુનઃનિવેશન (feedback) સર્જય છે તેમજ તેના કારણે તે pulseમાં ઊર્જાનો ઉમેરો થાય છે એટલે કે સ્પીકર, ગીટારના તારના કંપનોની ઊર્જામાં વધારો કરે છે. માટે હવે જે વિદ્યુત સિઅલ (electric pulse) ઉત્પન્ન થાય છે તે વિવર્ધિત (amplified) સ્વરૂપમાં હોય છે તેમજ તેમાંથી ઉત્પન્ન થતા દવનિના માત્રા (volume)માં વધારો કરે છે. આ ઘટના ફરીને સર્જતી રહે છે અને છેલેવે અન્ય બદાંજ વાધોના દવનિને પૃષ્ઠભૂમિમાં ધકેલી દઈ માત્ર ગીટારનો જ અવાજ આપણાને સંભળાય છે.

સાથોસાથ કાનમાં ભૂંગાનાં (sorry! earphone, headphone) નાખીને સંગીત સાંભળવાની ટેવ ધરાવનારાઓ માટે ચેતવણીનો પણ ઉલ્લેખ કરીએ. આપણા કાનના પડા (eardrum)નાં કંપનોનો કંપવિસ્તાર અત્યંત કર્કશ દવનિ માટે સામાન્ય ધીમા સ્વરો કરતાં ધણો વધારે હોય છે. વિજ્ઞાનથી પરિચિત આપણો સૌ જાણીએ હીએ કે ઊર્જા (E) એ કંપવિસ્તાર (A)ના વર્ગના સપ્રમાણમાં છે ($E \propto A^2$). એટલે કે જો કંપવિસ્તાર 10^6 હોય તો તેની ઊર્જા 10^{12} ના પ્રમાણમાં હોય છે જે ખૂલ મોટી માત્રા ગાણાય અને તેથી કચારેક તેના કારણે કાનમાંથી લોહી નીકળવું અથવા કાચમી બહેશા (permanent deafness)ની સંભાવના ઊભી થાય છે.

2. અનુનાદ-ધ્યાપક ઘટના

વીજપરિપથ (electrical circuits)માં 'અનુનાદ' સર્જય તેમ કલ્પના કરવી મુશ્કેલ લાગે પરંતુ અનુનાદનું તે સૌથી પ્રચલિત ઉદાહરણ છે. RLC પ્રકારના વીજપરિપથમાં આ ઘટના જોવા મળે છે જ્યાં R એ વિદ્યુત અપરોધ, L એ આત્મપ્રેરણ અને C એ વીજદારિય/વીજસંધારકતા દર્શાવે છે. આ ઘટકો પરિપથમાં સર્જતી વિદ્યુતઊર્જાનું ઉંઘીય ઊર્જામાં ડ્રેંપાંતર કરે છે. જ્યારે RLC પરિપથમાં વીજપ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે ત્યારે તે વીજપ્રવાહમાં થતો ફેરફારનો વિરોધ 'L' કરે છે જે ચુંબકીય ઊર્જાનો સંગ્રહ કરે છે, વિદ્યુતઊર્જાનો સંગ્રહ 'C' કરે છે (માટે આપણે તેને સંધારક તરીકે ઓળખીએ હીએ) અને 'R' એ પ્રવાહને અવરોધવાનું કાર્ય કરે છે (તેને ઘર્ષણ (friction) સાથે સરખાવી શકાય). માટે જ્યારે સંધારક C ને inductor/આત્મપ્રેરક 'L' સાથે જોડવામાં આવે ત્યારે કુલ ઊર્જાની વિદ્યુત અને ચુંબકીય ડ્રેંપાંતરો ચાલતાં રહે છે. આ ઘટનાનું સતત પુનરાવર્તન થવાથી વીજપરિપથ, પ્રાકૃતિક આવૃત્તિથી આંદોલિત થાય છે, અને તેની આવૃત્તિનું પ્રસિદ્ધ સૂત્ર છે,

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

જો પરિપથમાંથી પસાર થતાં AC પ્રવાહની આવૃત્તિ અને પરિપથની પ્રાકૃતિક આવૃત્તિ સમાન બને તો વિદ્યુત 'અનુનાદ' સર્જય છે. LCR પરિપથ એક પ્રકારે આવૃત્તિ માટેની ગળણી-frequency filter-તરીકે પણ કામ લાગે છે.

ઉત્સુકતાથી આપણે વિચારીએ કે તેનો ઉપયોગ શું હશે, તો આપણાને જણાય છે કે રેડિયો, ટેલીવિઝન, મોબાઇલ જેવાં ઉપકરણો માટે Wireless Communication, 'અનુનાદ'ની ઘટનાને કારણે જ શક્ય બને છે. સામાન્ય રીતે આ ઉપકરણોના 'signal', 'carrier frequency' તરીકે ઓળખાતી ચોક્કસ આવૃત્તિથી 'transmitter' તરીકે ઓળખાતા વીજપરિપથ દ્વારા પ્રસારણ કરવામાં આવે છે. આ ટ્રાન્સફર એક 'antenna' સાથે જોડાયેલ છે જે વીજચુંબકીય તરંગોનું પ્રસારણ આ 'carrier frequency'ની આવૃત્તિએ કરે છે. હવે સામાન્ય પક્ષે રહેલા રેડિયો જેવા ઉપકરણોના વીજપરિપથ સાથે જોડાયેલ antenna આ સિનિયલ જીલી લે છે. સ્વાભાવિક છે કે પ્રસારણ કરાયેલ સીનિયલ સાથે વાતાવરણની પૃષ્ઠભૂમિમાં રહેલા અન્ય આવૃત્તિ ધરાવતા background signals આ carrier frequency સાથે બાઈબંધી કેળવીને જોડાય છે, જે ઉપકરણોના એન્ટેના જીલી લે છે. પરંતુ ઉપકરણોના વીજપરિપથની રૂચના એવી રીતે કરાઈ છે કે જે આવૃત્તિ (આપણા કિસ્સામાં carrier frequency), ઉપકરણના પરિપથના દોલનોની આવૃત્તિ જેટલી જ આવૃત્તિ ધરાવે એટલે કે 'અનુનાદિત' થાય તેને જ સ્વીકારે છે. જો carrier frequency જેટલી આવૃત્તિ ધરાવતા carrier waveના કંપવિસ્તાર (amplitude)માં ફેરફાર (modulation) કરી પછી જ પ્રસારણ માટે મોકલવામાં આવે તો સામે તેને જીલતા ઉપકરણોના પરિપથ તેને અન્ય આવૃત્તિથી અલગ પાડી (demodulate) કરી પછી જ દ્વારાને પ્રસારણ કરે છે. આ પ્રક્રિયાને AM એટલે કે Amplitude Modulation કહે છે, જેની મર્યાદા એ છે કે તે અન્ય તરંગોની આવૃત્તિના ધોંઘાથી ઝડપથી પ્રભાવિત થાય છે અને તેથી તેના દ્વારાની ગુણવત્તા નબળી હોય છે. પરંતુ જો 'carrier wave'ની આવૃત્તિમાં જ સૂક્ષ્મ ફેરફાર કરી પછી પ્રસારણ કરવામાં આવે તો તેને FM (Frequency Modulation) તરીકે ઓળખવામાં આવે છે જેના દ્વારાની ગુણવત્તા AM પ્રસારણ કરતાં વધુ સારી હોય છે. આજકાલ FM રેડિયો વધુ પ્રચલિત બનેલ છે.

જ્યારે પણ કોઈ ઘટનામાં ગતિ અથવા આંદોલનો પુનરાવર્તિત થતાં હોય ત્યારે તેમાંથી 'અનુનાદ'ની ઘટના સર્જવાની શક્યતા હોય છે. 1952માં જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી W.D. Schumann એ અનુનાદ અને પૃથ્વી વરચેના સંબંધો અંગે રસપ્રદ સંશોધન કર્યું. અતે યાદ કરીએ કે આપણી પૃથ્વીને કરતે 'ionosphere'નું પ્લાન્ટમાયુક્ત આવરણ આવેલું છે. (આ એજ ionosphereનું સ્તર છે જેમાંથી સેટેશાવ્યવહાર માટેના રેડિયો તરંગો પરાવર્તિત થઈ સમગ્ર પૃથ્વી પર ફેલાય છે). પૃથ્વીની સપાટી અણા વીજભારિત હોય તેમ વર્તતી હોવાથી, વાતાવરણ એક સંધારક (capacitor)ની માફક વીજભારિત (charged) રહે છે અને જ્યારે વાવાડોર્ડ (thunderstorm) સર્જય ત્યારે વીજવિભાર (discharge)ને કારણે એક પ્રકારની 'આચોનોસ્ક્યુરિક' વીજળી થાય છે. આ વીજળીના ઝબકારા વરસાદની વીજળી કરતાં ધણી વધુ ઊંચાઈએ થાય છે તેમજ તેની સાથે રેડિયો તરંગો પણ સર્જય છે. આ રેડિયો તરંગોની આવૃત્તિ ખૂબજ ઓછી હોવાને કારણે તેમનાં કંપનો પૃથ્વીના ભ્રમણ તેમજ ચુંબકત્વને કારણે ઉત્પન્ન થતાં વીજચુંબકીય સ્થિત તરંગો (electromagnetic standing waves) સાથે અનુનાદ રચે છે જેમાં પૃથ્વી અને આચોનોસ્ક્યુરિક એક cavity-resonator રચે છે. આમ પૃથ્વીની નિશ્ચ અનુનાદ આવૃત્તિ શોધી શકાય છે. વધુ પ્રયોગો અને સંશોધનો દ્વારા Schumann એ નોંધ્યું કે પૃથ્વીની અનુનાદિત આવૃત્તિ 7.83 Hzની નિશ્ચ છે અને ત્યારથી તેને 'Schumann Resonance(s)' તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે. આ તો જાણો પૃથ્વી પણ શાસના ધબકારા લે છે તેમ સાબિત થાય છે ! પરંતુ આથી પણ વધુ રસપ્રદ બાબત એ છે કે 'Schumann Resonance' એ ઉંદર જેવા કેટલાક સજ્જવોના મગજમાં રહેલા જૈવિક દોલકો (biological oscillators)ને અસર કરે છે અને તેમના વર્તન તેમજ દૈનિક કિયાઓમાં ફેરફાર લાવે છે.

આપણે સૌ ક્રિયની ધન, પ્રવાહી, વાચુ તેમજ પ્લાન્ટમા અવસ્થાઓથી પરિચિત હીએ. ઉચ્ચ તાપમાનોએ સર્જતી ક્રિયની આયનીકૃત અવસ્થાને પ્લાન્ટમા (plasma) અથવા ક્રિયની 'ચોથી અવસ્થા' તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. વૈજ્ઞાનિકોના મત મુજબ સમગ્ર બ્રહ્માંડનું 99% ક્રિય પ્લાન્ટમા અવસ્થા ધરાવે છે અને માત્ર 1% અવસ્થામાં જ સજ્જવ સૃષ્ટિની હ્યાતી છે. તારા, સૂર્ય તેમજ અન્ય અવકાશી પદાર્થો આ અવસ્થા ધરાવે છે. વળી ટ્યુબલાઇટ, નીચોન પ્રકાશ જેવા પ્રસ્કરિત પ્રકાશ, પ્લાન્ટમા અવસ્થાના પ્રચલિત ઉદાહરણો છે. વધુ વિસ્તારપૂર્વક સમજ્ઞાએ તો જણાય કે ક્રિયના તાપમાનના વધારા સાથે તેમાં રહેલા અણુ-પરમાણુઓના વેગમાં વધારો થાય છે અને તેથી તેમની વચ્ચેની અથડામણ (collisions)ની સંભાવનામાં પણ વધારો થાય છે. આ અથડામણો પ્રબળપણે સર્જય ત્યારે કેટલાક પરમાણુઓમાંથી ઇલેક્ટ્રોન વિભૂટા પડે. તેમજ જે પરમાણુઓમાંથી ઇલેક્ટ્રોન છૂટા પડે તે 'આચોન'નું સ્વરૂપ ધારણ કરે છે. કેટલાક પરમાણુઓ આ પ્રક્રિયામાં પ્રેક્ષણ તરીકે જ હાજરી આપી તટસ્થ પરમાણુ તરીકે વર્તે છે. આ કારણોસર ત્રણ પ્રકારના કણો ઇલેક્ટ્રોન, આચોન તેમજ તટસ્થ પરમાણુઓ અહીં હોય છે. જો ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા 'n' હોય તેમજ આચોનોની સંખ્યા 'n' હોય તો પ્લાન્ટમા અવસ્થા દરમિયાન $n_1 \approx n_2$ ને કારણે આ અવસ્થાને 'વીજ તટસ્થ' તરીકે સ્વીકારવામાં આવે છે. અહીં ઇલેક્ટ્રોનનું દળ, આચોનોના દળ કરતાં ઓછું હોવાથી પ્લાન્ટમામાં તે વધુ ઝડપથી ગતિ કરે છે અને તેથી તે 'વીજપ્રવાહ'નું સર્જન કરે છે. માટે પ્લાન્ટમા અવસ્થાને કચ્ચાએક 'કવોસી બ્યુટ્રલ' (quasi-neutral) તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે. આચોન, ઇલેક્ટ્રોન અને તટસ્થ પરમાણુની સરેરાશ ગતિ ઉર્જા ($<1/2 mv^2>$), પ્લાન્ટમા અવસ્થા દરમિયાન કચ્ચારેચ સરળી હોતી નથી અને તેથી તાપમાન સાથેનો સંબંધ દર્શાવતું સૂત્ર દ્વારાનમાં લઈએ તો $<1/2 mv^2> = 3/2 KT$ અનુસાર આ ત્રણોચ

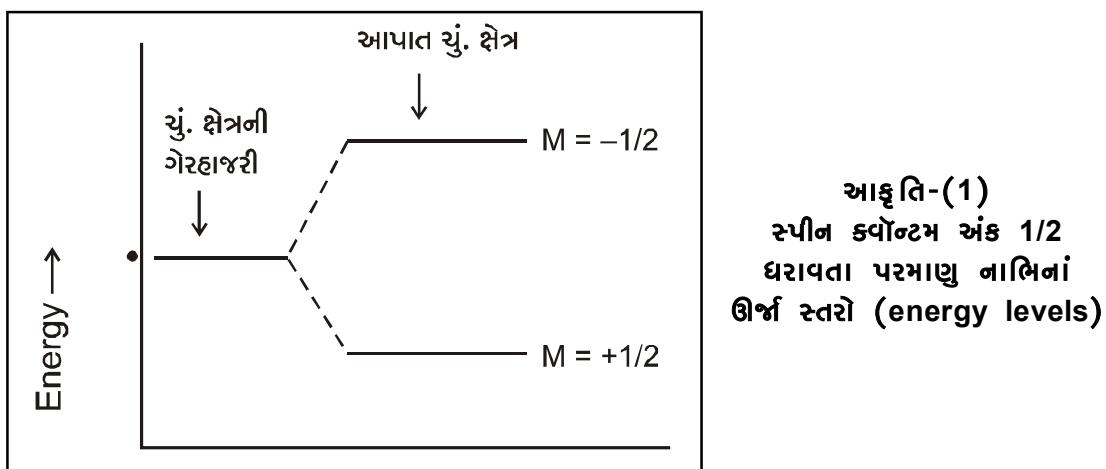
કણ, પ્લાઝમા અવસ્થા દરમિયાન, તાપમાનનો એકસરખો પ્રભાવ અનુભવ કરતા નથી. સામાન્ય તાપમાને, વાયુ વિધુત અવાહક (insulator) તરીકે વર્તે છે, પણ તે જ વાયુ ઉચ્ચ તાપમાનોએ ‘પ્લાઝમા’ અવસ્થા સર્જતાં ‘વિધુત સુવાહક’ (conductor) તરીકે વર્તે છે. આમ પ્લાઝમામાં ‘ઇલેક્ટ્રોન’ સબળ ભૂમિકા ભજવે છે કારણ કે બાબુ વીજક્ષેત્રની હાજરીને તે ઝડપથી પ્રતિક્રિયા આપે છે. હવે ધારો કે કોઈ એક ક્ષણે પ્લાઝમાના એક વિસ્તારમાં ઘણા બધા ઇલેક્ટ્રોન એકઠા થાય તો તેઓ ‘વીજક્ષેત્ર’ (electric field) ઉત્પન્ન કરે છે. આ વીજક્ષેત્ર, એકઠા થયેલા ઇલેક્ટ્રોન સમાન વીજભારિત હોવાને કારણે, એકબિજાથી દૂર જવા માટે મજબૂર કરે છે. આથી તે ક્ષણે જે જગ્યા પર ઇલેક્ટ્રોનની ગેરહાજરી સર્જતા તે સ્થાન ‘ધન વીજભાર’ તરીકે વર્તે છે. આથી હવે ઇલેક્ટ્રોન પાછા પોતાના મૂળ સ્થાન તરફ આકર્ષણીય છે. આ ઘટનાના પુનરાવર્તનથી આંદોલનો સર્જતા છે અને આ આંદોલનોની આવૃત્તિને “પ્લાઝમા આવૃત્તિ” ω_p (plasma frequency) તરીકે ઓળખવામાં આપે છે. આ આંદોલિત ઇલેક્ટ્રોનને ‘સ્પેસ ચાર્જ’ (space charge) તેમજ તેમના દોલનોને 'space charge oscillations' અથવા 'plasma oscillations' તરીકે ઓળખવામાં આપે છે. આ દોલનોના કવોન્ટન્ટ્યેકરણને 'plasmons' તરીકે ઓળખવામાં આપે છે. અહિં આવૃત્તિ 'ઓપ્શન્સ' એ વીજભાર ધનતા (charge density) 'n_e' પર આધાર રાખે છે જગ્યાં $\omega_p \propto \sqrt{n_e}$. એટલે કે જો પ્લાઝમા અવસ્થા દરમિયાન વીજભારની ધનતા વધુ હોય તો 'space charge oscillations'ની આવૃત્તિનાં મૂલ્યો પણ ઊંચાં હશે. હવે જો 'space charge oscillations' પર તાપમાનની અસર પણ સામેલ કરવામાં આપે તો આ oscillations તરંગોનું સ્વરૂપ ધારણ કરે છે અને તેમને 'plasma waves' તરીકે ઓળખવામાં આપે છે. 1920માં Irving Langmuir નામના ભૌતિકશાસ્ત્રીએ તેની શોધ કરી હોવાથી તે તરંગોને 'Langmuir waves' તરીકે પણ ઓળખવામાં આપે છે. વીજચુંબકીય તરંગોની જેમજ પ્લાઝમા તરંગો પણ ગતિ, ઊર્જા, વેગમાન જેવી લાક્ષણિકતાઓ ધરાવે છે. આ તરંગોની અસર હેઠળ ઇલેક્ટ્રોન પ્રવેગિત થાય છે અને તલસંબંધી ઊર્જા 'GeV' ક્રમની હોય છે. વીજચુંબકીય તરંગો અને પ્લાઝમા તરંગોનાં દોલનોની આવૃત્તિ સરખી થાય તો ‘પ્લાઝમા અનુનાદ’ (plasma resonance) રચાય છે. પૃથ્વીથી લગભગ 90 kmની ઊંચાઈએ પ્લાઝમા અવસ્થા ધરાવતું 'ionosphere'નું સ્તર આપેલું છે જે સૂર્યનાં UV વિકિરણોને કારણે આચનિકૃત થયેલ છે. Ionosphereનું સ્તર સૌર જવાનાઓ તેમજ CME (Coronal Mass Ejection) થી પ્રભાવિત થાય છે. જો સૂર્ય દ્વારા ઉત્સર્જયેલ charged particles, પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં સપદાય તો તે ગળાઈને (વૈજ્ઞાનિકો આ કિયાને precipitate કરે છે) ionosphereના સ્તર સાથે ટકરાય છે અને જો આ charged particlesના દોલનોની આવૃત્તિ તેમજ ionosphereમાં હેલેલા આચનોના દોલનોની આવૃત્તિ સમાન બને તો ‘અનુનાદ’ને કારણે તે સ્તરમાં 'substorms' (વાયુ તોફાનો) તેમજ 'aurora (Aurora Borealis, Aurora Australis)' પ્રકાશ સર્જતા છે. પૃથ્વી પરથી અવકાશમાં રહેલ માનવસર્જિત ઉપગ્રહ સાથે સેંદ્રશાસ્ત્રવહારીની આપલે કરવી હોય તે માટે ઉપયોગમાં લેવાતા રેડિયો તરંગોની આવૃત્તિ, ‘પ્લાઝમા અનુનાદ’ દરમિયાન સર્જતી ‘પ્લાઝમા આવૃત્તિ’ કરતાં વધુ હોવી જોઈએ જેથી રેડિયો તરંગો તે 'ionosphere'ને વિભેદી શકે અન્યથા આ રેડિયો તરંગો પૃથ્વી પર પરાવર્તન પામે છે. આ રેડિયો તરંગોને માત્ર પૃથ્વી પર જ સેંદ્રશાસ્ત્રવહાર માટે ઉપયોગમાં લેવા હોય તો સ્વાભાવિક છે કે તે તરંગોની આવૃત્તિ ‘પ્લાઝમા આવૃત્તિ’ કરતાં ઓછી હોવી જોઈએ જેથી સમગ્ર પૃથ્વી પર કોઈપણ જગ્યાએ તેમને ionosphereના આવરણ પરથી પરાવર્તિત કરી મોકલી શકાય. પ્લાઝમા આવૃત્તિથી સર્જતા અનુનાદનો ઉપયોગ 'RADAR' ના કાર્ય માટે પણ થાય છે.

પ્લાઝમા અવસ્થાની વાત નીકળી છે તો આપણે એ પણ જાણીએ કે આ અવસ્થાની સાથે અનુનાદનો જ એક પ્રકાર ECR (Electron Cyclotron Resonance) સંકળાયેલ છે. પ્લાઝમા અવસ્થા જેમ વીજક્ષેત્ર ધરાવે છે તેમ તે static uniform magnetic field પણ ધરાવે છે. આ સ્થિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ઇલેક્ટ્રોન, લોરેન્ટન્ઝ બળ (Lorentz force)ની અસર હેઠળ વર્તુળાકાર ગતિ કરે છે. જો આ અવસ્થા દરમિયાન બાબુ વિધુતક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આપે તો તે ઇલેક્ટ્રોન કુંતલાકાર (helical) ગતિ પથ ધારણ કરે છે જે લાગુ પાડેલ બાબુ ક્ષેત્રને લંબ તેવો અક્ષીય ગતિ પથ હોય છે અને તેથી ઇલેક્ટ્રોન ગતિપથને 'cycloid' તરીકે પણ ઓળખવામાં આપે છે. આ cycloidની કોણીય આવૃત્તિ અને લાગુ પાડેલ ક્ષેત્રની આવૃત્તિ જ્યારે સમાન બને ત્યારે સર્જતા અનુનાદને Electron Cyclotron Resonance (ECR) તરીકે ઓળખવામાં આપે છે. આ ઘટનાથી પ્લાઝમા અવસ્થાનું નિયમન કરી શકાય છે. ECRનો ઉપયોગ કેન્સરના રોગની સારવાર, અર્ધવાહકના ઉત્પાદન, કોમ્પ્યુટર માટે DRAM memory ઉપરાંત particle accelerators ક્ષેત્રે તેમજ paintsના ઉત્પાદન માટે થાય છે.

અનુનાદ અને તબીબી વિજ્ઞાન

આધુનિક ભૌતિકશાસ્ત્રમાં સંશોધનો તેમજ ઉપકરણોનો વ્યાપ વધતાં, અનુનાદે તબીબી વિજ્ઞાનમાં નિદાન ક્ષેત્ર (diagnostics)માં કાંતિ લાવી દીધી છે. જે વ્યાધિ તબીબો માટે કોયડા સમાન છુપાયેલી રહેતી હતી તેમાંની કેટલીક વ્યાધિઓ પરથી પડદો હટાવવામાં, MRI-

Magnetic Resonance Imaging પ્રક્રિયા મહત્વનો ભાગ બજબ્યો છે. NMRI (Nuclear Magnetic Resonance Imaging) તરીકે પણ ઓળખાતી આ પ્રક્રિયા, આધુનિક તબીબી વિજ્ઞાનનું અનિવાર્ય અંગ બની ચૂકી છે. આ પ્રક્રિયામાં ‘અનુનાદ’ના મહત્વને સમજવું હો તો સૌપ્રથમ આપણે તેની સાથે સંકળાયેલ પાચાનું વિજ્ઞાન સમજવું પડશે. પરમાણુમાં રહેલા કણો એટલે કે ઇલેક્ટ્રોન, પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોન સ્વયંભૂપણે પરિભ્રમણ (spin) કરે છે. C¹² જેવા કેટલાક પરમાણુઓ માટે પરિભ્રમણ ચુંબ એવા સર્જાય છે કે પરમાણુ નાભિ (nucleus) માટે કૂલ spinનું મૂલ્ય શૂન્ય રહે છે. પરંતુ H¹ અને C¹³ પરમાણુના નાભિ, spinનું અશૂન્ય મૂલ્ય ધરાવે છે. કવોન્ટમ અંતરાસ્ત્ર અનુસાર આ spinનું મૂલ્ય તે પરમાણુ નાભિની દિક્ષિયિત (orientation) નિશ્ચિત કરે છે. બાબુ ચુંબકીય ક્ષેત્રની ગેરહાજરીમાં પરમાણુ નાભિ એક સરખી ઊર્જા ધરાવતી દિક્ષિયિત ધરાવે છે. પરંતુ બાબુ ચુંબકીય ક્ષેત્રની હાજરીમાં, તે પરમાણુ નાભિના ચુંબકીય ઊર્જા સ્તરો વિભાજન (splitting) અનુભવે છે અને તે દરેક ઊર્જા સ્તરને ચુંબકીય કવોન્ટમ અંક-M (magnetic quantum number-M) દ્વારા દર્શાવાય છે. (જુઓ આફૂતિ-1)



જ્યારે પરમાણુ નાભિને ચુંબકીય ક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે ત્યારે ઊર્જા સ્તરોની પ્રારંભિક સંખ્યા, Boltzman વિતરણ અનુસાર નક્કી થાય છે. પરમાણુનાભિને ઊર્જાનાં નીચા મૂલ્યો ધરાવતા ઊર્જાસ્તરોથી ઉચ્ચ મૂલ્યો ધરાવતા ઊર્જાસ્તરો તરફ વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણોની મદદથી ઉત્સેજિત કરી શકાય છે. આ માટે વિદ્યુતચુંબકીય ક્ષેત્રની આવૃત્તિનું મૂલ્ય, આ ઊર્જા સ્તરોની ઊર્જાના મૂલ્યોના તફાવત ΔE દ્વારા નક્કી થાય છે. અહિંચા $\Delta E = h\nu$ જ્યાં ν અનુનાદી આવૃત્તિ છે. આમ Nuclear Magnetic Resonance (NMR)માં ડ્રવ્યનાં પરમાણુનાભિ અનુનાદિતપણે વીજચુંબકીય ઊર્જાનું શોષણ કરીને spin flip પામે છે. NMRI નિદાન પ્રક્રિયામાં એક પ્રબળ ચુંબકને માનવ શરીરમાં રહેલા અણુઓને સમાંતર ગોઠવવામાં આવે છે. આપણે જાણીએ છીએ કે માનવ શરીર વિપુલ માત્રામાં પાણી (H₂O) અને ચરબી ધરાવે છે. H₂Oનાં પરમાણુનાભિ પ્રોટોન ધરાવે છે. આ પ્રોટોનની દિક્ષિયિત (orientation) M = 1 હોય છે. અગાઉ આપણે વાત કરી તેમ જ્યારે બાબુ ચુંબકીય ક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે ત્યારે શરીરમાં રહેલા પેલાં પ્રોટોન ડાલ્ખાડમારા થઈને પોતાની ધરી અન્ય પ્રોટોનની ધરી સાથે સમાંતર રાખી, એક હોળમાં ગોઠવાઈ જવા પ્રેરાય છે. આ દિક્ષિયિતમાં થતાં ફેરફારને 'precession'ની ઘટના કહેવામાં આવે છે તેમજ તે આવૃત્તિને 'Larmor frequency' તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. પ્રબળ ચુંબકત્વ ધરાવતા ચુંબકીય ક્ષેત્રની આવૃત્તિ અને પ્રોટોનની સ્પીનફ્લેપ (સ્પીન ઉલટ-spin flip) આવૃત્તિ એક સમાન બને ત્યારે જ અનુનાદ સર્જાય છે. ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ફેરફાર કરવાથી, પ્રોટોન રેન્ડિયો સિન્થ્રલનું ઉત્સર્જન કરે છે જેના પરથી MRI સ્કેનર માનવશરીરનાં અંગોનો ત્રિ-પરિમાણમાં (3D) નકશો તૈયાર કરે છે, જે નિદાન માટે ઉપયોગી નીવડે છે. અહિં ચુંબકીય ક્ષેત્રની પ્રબળતામાં ફેરફાર કરવાથી શરીરના જુદા જુદા અવયવો, જુદી જુદી આવૃત્તિએ અનુનાદિત થાય છે. માનવ શરીરમાં જો રોગિક ગાંઠો (tumors)ની હાજરી હોય તો તેમાં પાણીનું પ્રમાણ અસાધારણ માત્રામાં વધારે હોવાથી તેની અનુનાદિત આવૃત્તિ, શરીરના સ્વસ્થ કોશો ધરાવતા અંગોની આવૃત્તિ કરતાં જુદી હોય છે અને તેથી તેનું નિદાન શક્ય બને છે. માટે આ પ્રક્રિયાને કચારેક ‘પ્રોટોન NMR પ્રક્રિયા’ તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે. વળી NMR એ રસાયણવિજ્ઞાન અને જીવવિજ્ઞાનમાં પણ સંશોધનનું ઉપયોગી સાધન છે.

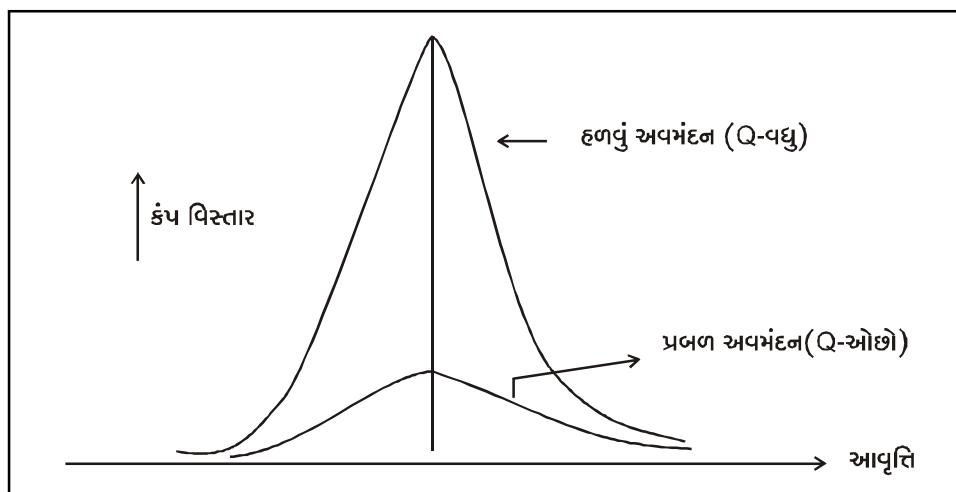
દોસ્તો, હવે આપણે ઘરનાં રસોડાં તરફ નજર માંડીએ તો Microwave Oven ને કાર્યરત કરવાની આવૃત્તિ 2.45 GHz છે, જે પાણીના અણુઓની આવૃત્તિની બિનન છે અર્થાત માઈક્રોવેવ ઓવનની આવૃત્તિ, પાણીના અણુઓની અનુનાદિત આવૃત્તિ કરતાં ઘણી ઓછી છે. જો તેમ ન હોત તો ખાદ્ય પદાર્થો પરનું બધું જ પાણી શોખાઈ જાય પરંતુ તેજ ખાદ્ય પદાર્થ અંદરથી રંધ્યા વગર કાચો રહી જાય!

અનુનાદ અને અવમંદન (damping)

અત્યાર સુધીની ચર્ચા અને રસપ્રદ ઉદાહરણો એવી છાપ ઊભી કરે કે જે આંદોલનોથી ‘અનુનાદ’ સર્જાય છે તે અવિરત હશે. પરંતુ વાસ્તવિક સ્થિતિમાં આનાથી તદ્દન વિપરીત બને છે. કોઈપણ બાળ્ય પરિબળ વગર પણ, ઘર્ષણ બળોની અસર હેઠળ દોલનો ક્રમઃ ઘટતાં જાય છે, જે અવમંદન (damping) તરીકે ઓળખાય છે. આ બળો, દોલનનો ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં અને તેની ઝડપનાં સમપ્રમાણમાં કાર્ય કરે છે, જેને નીચેનાં વિકલ સમીકરણથી દર્શાવાય છે:

$$\frac{md^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0$$

અહીં m એ કણાનું દળ છે, જ્યારે ‘b’ને ‘damping constant’ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. જો b = 0 હોય તો સતત ચાલતી સરળ આવર્ત ગતિનું સમીકરણ મળે છે. Shock absorbers, ભૂકુપ વિસ્તારના રહેઠાણો વગેરે માટે અવમંદનનો અભ્યાસ પણ અનુનાદ જેટલો જ મહત્વનો સાબિત થાય છે. નમૂનાની આફ્ટુની-2 દર્શાવે છે કે અવમંદનની માત્રા અનુનાદની પ્રબળતા અને તેનો વ્યાપ નક્કી કરે છે.



આફ્ટુ-(2)

અનુનાદની પ્રબળતાનો ખ્યાલ આપતી પરિમાણારહિત રાશિને ગુણવત્તા અંક (quality factor) Q કહે છે.

3. સમાપન

મિત્રો, આપણે અનુનાદ સાથે કદમતાલ કરતા કરતા કયાંથી કયાં નીકળી ગયા.....?!

21મી સદીમાં આધુનિક ભૌતિકશાસ્ત્રની સંશોધન ક્ષેત્રે થયેલ હરણાફાળથી વિજ્ઞાનના વિષયો વર્ચયેના સીમાડા લુપ્ત થઈ રહ્યા છે. 20મી સદીમાં એકબીજાથી ચાતરીને ચાલનારા વિજ્ઞાનના વિષયોને એકવીસમી સદીમાં એકબીજા વગર ચાલે તેમ નથી, અને તેની પૃષ્ઠભૂમિમાં ભૌતિકશાસ્ત્રના પાચાના સિક્લાંટો/આયામોનું ચોગદાન રહેલું છે. આપણે જોઈ શક્યા કે માત્ર ‘અનુનાદ’ જેવી એક જ ઘટનાને દ્યાનમાં લેવામાં આવે તો તેણે વિજ્ઞાનનાં અન્ય ક્ષેત્રોને નોંધપાત્ર રીતે પ્રભાવિત કર્યા છે. આમ ભૌતિકવિજ્ઞાન એકબહુશાખી (multidisciplinary) જ્ઞાન બને છે.

ભૌતિકવિજ્ઞાન ભણવા-ભણાવવામાં પણ શિક્ષક-વિધાર્થી વર્ચયે રસ-રાચિ અને ઉત્સાહનાં આંદોલનો જાગે અને એક પ્રકારે ‘અનુનાદ’ પ્રગટે, તો વર્ગ એ સ્વર્ગ બને...!!

એન્ટ્રોપી - એક અમૂર્ત, ગૂઢ, નિરપેક્ષ વિભાવના

ડૉ. અમ. પી. મારુ
નિવૃત અદ્યક્ષા, ફિઝિક્સ વિલાગ
ગુજરાત કોલેજ, અમદાવાદ
પ્રો. કે. અન. જોખીપુરા
નિવૃત પ્રોફેસર
સરદાર પટેલ યુનિવર્સિટી, વલ્લબ વિદ્યાનગર

એન્ટ્રોપી એટલે અવ્યવસ્થા, એ નિરાશાજનક પણ વાસ્તવિક ખ્યાલ થર્મોડાયનેમિક્સથી શરૂ થઈને હાલમાં ક્યાં
ક્યાં જઈ પહોંચ્યો છે ? વળી, એન્ટ્રોપીના ‘નકાર’માંથી કોઈ રીતે ‘સકાર’ તરફ જઈ શકાય ખરું ? શી રીતે ?
આવા સવાલોના જવાબ (સંભવતઃ) આ લેખમાં મળશે.

1. પ્રાસ્તાવિક

એન્ટ્રોપી !? શીર્ષક વાંચીને આશ્ર્ય થાય કારણ કે, જે વિભાવનાનો જન્મ 1854માં એટલે કે આજથી દોઢસોથી પણ વધુ વર્ષો
પહેલાં થયો હોય, તેનો દીતિહાસ લખવાનો હોય કે તેનું અદ્યાચન કરવાનું હોય ? ભૌતિક વિજ્ઞાનમાં આપણે ધોરણ 11-12માં જે ભણી/
ભણાવી ગયા તેમાં હવે નવું શું ઉમેરવાનું હશે ?! આ પ્રશ્નોના જવાબ આપણે અંતમાં જોઈશું. સૌ પ્રથમ તો રસપ્રદ વાત એ છે કે, જર્મન
વિજ્ઞાની કલોસીયસે એન્ટ્રોપીની વિભાવના 1854માં રજુ કરી, પરંતુ પ્રારંભમાં તેને નામ આપવામાં આવેલ નહોતું. તેનું નામકરણ જન્મ
પછી 11 વર્ષ 1865માં કરવામાં આવ્યું. આજે પણ તેનું ભૌતિક અર્થઘટન આપણાને ગણન વિચારમાં મૂકી છે. જાણીને નવાઈ લાગે કે,
એન્ટ્રોપીની વિભાવનાને અનુલખીને 2008થી 2010ના ગાળામાં A. Ben-Naim નામના વિજ્ઞાનીએ ત્રણ પુસ્તકો લખ્યાં છે, જેના નામ
છે Entropy demystified, A farewell to Entropy અને Discover Entropy and second law of thermodynamics.
હજુ આહેક વર્ષ પહેલાં જ જેને માટે ત્રણ પુસ્તકો લખાયાં હોય તે ખરેખર ગૂઢ રાશિ જ કહેવાય ને ! ? અતે આપણે આ ભૌતિક રાશિ વિષે
થોડું ચિંતન કરીએ. એક વાત સમજુ લઈએ કે, એન્ટ્રોપી એ ઘણી રીતે વિશિષ્ટ ખ્યાલ છે.

આધુનિક ભત મુજબ એન્ટ્રોપીની સંક્લપના ભૌતિકશાસ્ત્રની જુદી-જુદી શાખાઓમાં પણ અસ્તિત્વ ધરાવે છે, પરંતુ તેનો પ્રેરણ
સર્વપ્રથમ ઉઘમા-યંત્રશાસ્ત્ર (thermodynamics)માં થયેલ હોવાથી આપણે પણ ત્યાંથી પ્રારંભ કરીએ. ઉઘમા-યંત્રશાસ્ત્રમાં કોઈ તંત્રની
અવસ્થા (state) ચાર વિદ્યો દ્વારા રજુ કરી શકાય. તે વિદ્યો છે તાપમાન T, અંતરિક ઉર્જા U, ઉઘમા વિનિમય Q અને એન્ટ્રોપી
S. એન્ટ્રોપીના મૂળમાં ઉઘમા-યંત્રશાસ્ત્રના નિયમો અને કાર્નોટ ચક્ર પર આધારિત આદર્શ ઉઘમા-એન્જિનનો ખ્યાલ અગત્યનો ભાગ ભજ્યે
છે. આમ જુઓ તો છેક 1773ના અરસામાં જેભ્સ વોટ દ્વારા ઉઘમા-એન્જિનને વ્યવહારમાં લાવવાનો પ્રથમ પ્રચ્છન્દ થયો હતો. ત્યારબાદ
ચાંત્રિક કાર્ય અને ઉઘમાના ખ્યાલો સ્પષ્ટ થવા લાગ્યા. ઉઘમા-યંત્રશાસ્ત્રનો પહેલો અને બીજો નિયમ લગભગ સાથોસાથ રચાયા હોવાનું
મનાય છે. તેનો પહેલો નિયમ એ ઉર્જા સંરક્ષણાનો સિદ્ધાંતનું એક સ્વરૂપ છે. આ નિયમ મુજબ તંત્રની આંતરિક ઉર્જામાં થતો ફેરફાર ΔU
એ તંત્રને આપવામાં આવતી બાબુ ઉઘમા Q અને તે પ્રક્રિયા દરમયાન તંત્ર વડે થતાં કાર્ય Wના તફાવત જેટલો હોય છે, $\Delta U = Q - W$. અહીં એ સ્પષ્ટ થતું નથી કે, ઉઘમા અથવા કાર્યના વિનિમય દરમયાન કોઈ પ્રક્રિયા સંભવિત કે પ્રતિબંધિત હોય છે કે કેમ ! પ્રથમ નિયમ
માત્ર એટલું કહે છે કે, કોઈ પણ પ્રક્રિયામાં ઉર્જા સંરક્ષણાનો સિદ્ધાંત જળવાવો જોઈએ. કુદરતી પ્રક્રિયાઓમાં એક પ્રકારની ‘દિશા’નો ખ્યાલ
આપે છે. બીજો નિયમ, જે કહે છે કે, આપણેને બાબુકાર્યની ગેરહાજરીમાં ઉઘમાનું વહન હંમેશાં ગરમ પદાર્થી ઠંડા પદાર્થ તરફ થાય છે.
આમ આ સર્વસ્વીકૃત હકિકતને અહીં મૂળભૂત ધારણા કે નિયમનું સ્વરૂપ આપવામાં આવ્યું છે. આ નિયમનું પૃથક્કરણ કરતાં એક અગત્યના
વિદ્યેય એન્ટ્રોપી વિષે જાણકારી મળે છે. જ્યારે કોઈ કુદરતી પ્રક્રિયા એક સંતુલિત સ્થિતિઓથી શરૂ થઈને બીજી સંતુલિત સ્થિતિએ પહોંચે
છે ત્યારે પ્રક્રિયા એ રીતે થાય છે કે, અપ્રતિવર્તિ ફેરફાર દરમયાન પરિસર અને તંત્રની કુલ એન્ટ્રોપીમાં વધારો થાય, અને જો ફેરફાર પ્રતિવર્તિ
હોય તો તે અચળ રહે. અપ્રતિવર્તિ ફેરફાર એ ચુસ્તપણે અમલ કરવામાં આવતા એકમાર્ગી વાહન-વ્યવહાર (one-way traffic) જેવો છે.
એન્ટ્રોપીનો ખ્યાલ રજુ કરતાં કલોસીયસે એક ચુગ પ્રવર્તક વિદ્યાન કર્યું હતું કે, “વિશ્વ સમસ્ત (Universe)ની કુલ ઉર્જા અચળ રહે છે છે
જ્યારે કુલ એન્ટ્રોપી વધતી જાય છે.” આપ જોઈ શકશો કે, બીજા નિયમનું કથન એ એક પ્રકારની અશક્યતા દર્શાવતું વિદ્યાન છે. શું તેનું

કોઈ ગાણિતીય સમીકરણ હોઈ શકે ખરું ? હા, તે સમજવા માટે ‘n’ મોલ આર્દ્ધ વાયુનું T તાપમાને સમતાપી પ્રસરણ વિચારીએ. વાયુને dQ ઉઘા મળતાં અથલ દબાણ P એ તેના કદ Vમાં dV વધારો થાય છે. અતે $\Delta U = 0$, તેથી

$$dQ = dW = PdV$$

હે $PV = nRT$ પરથી, $dQ = (nRT/V)dV$, જેથી $dV/V = (1/nR) \cdot dQ/T$

કદ વિસ્તરણ દV બાદ વાયુના આણુઓનાં સ્થાન અને વેગમાનમાં વધુ અનિશ્ચિતતા આવે છે, તેથી dV/V ને અસ્તબ્ધસ્તતાનું એક માપ ગણી શકાય, જેનો આધાર dQ/T પર છે. તેથી dQ/T એ અસ્તબ્ધસ્તતામાં વધારો દર્શાવતી ભૌતિક રાશિ છે. આમ એન્ટ્રોપી S એ તંત્રનો એક ગુણાર્થ છે, જેમાં થતો અતિ અલ્પ (infinitesimal) ફેરફાર dS નીચે મુજબ વ્યાખ્યાયિત થાય છે.

આદર્શ ઉધા એન્જિનના કાર્નોટ ચક પર આધારિત બીજા નિયમનું કથન એમ કહે છે કે, કોઈ પણ ઉધા એન્જિનની કાર્યક્ષમતા 100% હોઈ શકે નહીં. આ બાબતની અગત્યતા એ છે કે, તે વિજ્ઞાન અને ટેકનોલોજીના ધારા પાસાં ઓને ઉંડી અસર કરે છે. આજે સ્કુટર મોટર વગેરેના એન્જિનની કે પછી સૌરકોષ (solar cell)ની કાર્યક્ષમતા (efficiency)નો સવાલ હોય ત્યારે લાગે છે કે, થર્મોડાયનેમિક્સનો બીજો નિયમ એક ખલનાચક તરીકે વર્તે છે, અને ખલનાચિકા છે એન્ટ્રોપી ! ઉપર આપણે એક એવો નિર્ણશ કર્યો છે કે, એન્ટ્રોપીમાં વધારો એટલે તંત્રની અંદર અસ્તવ્યસ્તતા અથવા અવ્યવસ્થા (disorder or randomness)માં વધારો. અપ્રતિવર્તિ ફેરફારોમાં કોઈ અલગ કરેલું તત્ત્વ, અવ્યવસ્થામાં વધારો થાય તે રીતે આગળ ધ્યે છે. ભૌતિક વિજ્ઞાનના કોઈ શિક્ષક કે વિદ્યાર્થીનિ દ્યાન પડે કે તેનો રૂમ બહુ જ અસ્તવ્યસ્ત થઈ ગયો છે તો એ શું કહેશો? “.... રૂમની એન્ટ્રોપી વધી ગઈ છે!...” કુદરતી ઘટનાઓમાં એન્ટ્રોપી વધવાનાં ધારા ઉદાહરણો જોવા મળે છે. એક આંદોલિત થતાં લોલકનો વિચાર કરો, આદર્શપણે તો તેમાં સ્થિતિઉર્જા અને ગતિઉર્જાના પરસ્પર રૂપાંતરો થતાં રહેવાં જોઈએ. પરંતુ હવાના અવરોધને કારણે અવમંદન (damping) થવાથી તેની ઉર્જા ક્રમેક્રમે હવાના અણુઓની અસ્તવ્યસ્ત ગતિમાં થોડો વધારો કરે છે અને છેવટે લોલકની ઉપયોગી ઉર્જા ખલાસ થઈ જાય અને તે સ્થિર થઈ જાય છે. હવે આ સ્થિર લોલક આપમેળે આજુબાજુની હવામાંથી ઉધાઉર્જા ફરી પાછી મેળવીને આંદોલિત થવા લાગે તેવું બનતું નથી. ધારો કે આપું બને તો પણ તેમાં પહેલા નિયમ તરફથી કોઈ વાંધા વિરોધ નથી. તેમાં આડો આવે છે બીજો નિયમ. આ સંદર્ભમાં કેલ્વિન-પલાંકનું કથન આ પ્રમાણે છે. “એવી થર્મોડાયનેમિક પ્રક્રિયા કે જેની માત્ર અને માત્ર અસર ઉધાનું પુરેપુરું રૂપાંતર ચાંત્રિક કાર્યમાં થાય તે શક્ય નથી.” આ ચર્ચાનો એક બીજો સુચિતાર્થ પણ સમજવા જેવો છે. કુદરતી પ્રક્રિયાઓના થવાની સાથોસાથ અવ્યવસ્થા કે એન્ટ્રોપીમાં વૃદ્ધિ થતી રહે છે. આ બાબત સમયના વહેવાનો એક કમ અથવા તો સમયના વહેણની એક દિશા દર્શાવે છે. અને આમ તે ઉધા-ગતિકીય સ્યક તીર (thermodynamic arrow of time) દર્શાવે છે.

2. સ્વભાવ-કાળોના તંત્રની અન્દોપી

ઉપરોક્ત ચર્ચામાં આપણે વાયુપાત્રમાં રહેલ વાયુ કે એવાં કોઈ મોટાં અથવા બૃહદ તંત્ર (macro-system)નો વિચાર કર્યો. અતે બૃહદ એટલે એવું મોટું તંત્ર કે જે સામાન્યપણે જોવા મળે છે, અને જેનાં ભૌતિક ગુણધર્મો P, V, T વગેરે સીધેસીધા સામાન્ય વૈજ્ઞાનિક સાધનોથી માપી શકાય. હવે આ તંત્ર, અતિ સુદૃઢ નજ્રએ ન દેખાય તેવા પરમાણુ-અણુઓનું બળેલ હોય છે; માટે તંત્રના બૃહદ ગુણધર્મો (macroscopic properties) એ સુદૃઢ ગુણધર્મો (microscopic properties) પર આધારિત હોય તે સ્વાભાવિક છે. એન્ટ્રોપીની વિભાવનાના વિકાસમાં આ પ્રકારનો ખ્યાલ બોલ્ટ્રક્રમેન અને ગીબ્સ નામના વિજ્ઞાનીઓએ 19મી સદીના છેલ્લા દાયકાઓમાં રજૂ કર્યો હતો. બોલ્ટ્રક્રમેન થોડ્ય રીતે તર્ક કર્યો કે કોઈપણ તંત્ર સંતુલનમાં હોય કે ન હોય પણ તેની દશ્યમાન અથવા બૃહદ અવસ્થા (macrostate) એ કોઈ સુદૃઢ અવસ્થાઓ (microstates)ને આભારી હોય છે. સુદૃઢ અવસ્થા એ તેનાં અંતર્ગત કણોના સ્થાન અને વેગમાનથી વ્યાખ્યાચિત થાય છે. હવે તંત્ર કે પદાર્થમાં કાણો (અણુ-પરમાણુઓ)ની સંખ્યા તો ઘણી ઘણી મોટી છે, અને તેના સ્થાન-વેગમાનનો વિચાર કરીએ તો વિરાટ સંખ્યામાં સુદૃઢ અવસ્થાઓ સંભવી શકે. વળી સુદૃઢ અવસ્થાઓનું વૈવિદ્ય જુદું જુદું હોય તો પણ તેને અનુરૂપ આખા તંત્રની બૃહદ અવસ્થા કોઈ એક જ હોઈ શકે. વધુમાં એક ખૂબ નાટકીય કલ્પના કરીએ તો ઘારો કે વાયુના તમામ અણુઓ એક જ સમાન વેગમાન \vec{p} ધરાવે છે. આ અસંભવ પરિસ્થિતિમાં અલબત એક સ્પષ્ટ સુવ્યવસ્થા નજ્રે ચકશો. પરંતુ તેમાં તમામ અણુઓ જાણો કે એક જ સુદૃઢ અવસ્થામાં રહેલાં હશે. જો કે આવું બનતું નથી. કેવળ આકસ્મિક રીતે આવું બને તો પણ તે અસંતુલનની પરિસ્થિતિ છે, એ લાંબુ ટકે નહીં ! જેમ સુદૃઢ અવસ્થાઓનું વૈવિદ્ય વધુ એટલે કે જેમ અવ્યવસ્થા વધુ તેમ તંત્ર સંતુલનની વધુ નજ્ક હોય. આ પ્રકારની સાંખ્યિકી



યંત્રશાસ્ત્ર (statistical mechanics)ની દલીલો પરથી બોલ્ટ્ર્ઝમેને એક મહત્વાનું સમીકરણ તારયું. તંત્રમાં સુષ્ટમ અવસ્થાઓની સંખ્યાને રૂ (ઓમેગા)ની સંજ્ઞા આપીએ અને જો k_B એ બોલ્ટ્ર્ઝમેન અચળાંક હોય તો બોલ્ટ્ર્ઝમેન એન્ટ્રોપી સમીકરણ છે.

$$S = k_B \ln \omega \quad \dots \dots \dots (2)$$

અતે રૂ ખુબ મોટી સંખ્યા છે એટલે તેનો લોગેરિધમ લેવામાં આવેલ છે તે ઘણું સુચક છે. (ભૌતિકવિજ્ઞાની બોલ્ટ્ર્ઝમેનની કબર પર આ સમીકરણ મુકવામાં આવેલ છે.)

આઈ પ્રક્રિયા કે, સુષ્ટમ અવસ્થા કે સ્થુળ (બૃહદ્દ) અવસ્થા એ ખરેખર છે શું?! એક ઉદાહરણ ડ્રારા એ સમજુએ. કલ્પના કરો કે એક શાળામાં 1000 વિદ્યાર્થીઓ ભણો છે અને ત્યાં એક-સમાન ગણવેશની પ્રથા નથી. તો સ્વાભાવિક છે કે, દરેક વિદ્યાર્થીનું પોતાનું પૂર્ણ પરિદ્યાન એક વ્યક્તિગત અથવા સુષ્ટમ અવસ્થા છે. જાણો કે દરેક વિદ્યાર્થી એ સમગ્ર તંત્રનું એકમ યાને કે 'આણુ' ગાણી શકાય. પરિદ્યાનની વિવિધતાના કારણોસર અહીં અસ્તિવ્યસ્તતા છે, અને માહિતીનો અભાવ છે. કોઈ વિદ્યાર્થી તે શાળાનો છે કે નહીં, અથવા તો તે કચારે કેવાં વસ્ત્રો પહેરીને આવશે તેના વિશે કશું કહી શકાય નહીં. વળી જેટલું વૈવિધ્ય વધુ એટલી અનિશ્ચિતતા વધુ.... તે એટલી હુદે કે શાળાના તમામ બાળકો કોઈ દિવસે એક સરખાં વસ્ત્રો દા.ત. બલ્યુ રંગનું છુંસ પહેરીને આવે તેની સંભાવના લગભગ નહીંપત્ત ગણાય....! કેવળ અનાયાસે જ આમ બને તેવી અવસ્થા માટે અબજો વર્ષ સુધી રાહ જોવી પડે....!! બોલ્ટ્ર્ઝમેનની જેમ ગીબસે પણ એન્ટ્રોપીનું ગણિત આપેલ છે. પરંતુ તેણે તંત્રને માટે Canonical Ensembleની વિભાવના આપી, કે જેમાં ઘટક-કણો પરસ્પર આંતરકિયા (interaction) કરી શકે છે. કેનોનિકલ એટલે સર્વગ્રાહી અથવા પ્રમાણભૂત અને એન્સેમ્બલ એટલે સમગ્ર દર્શન કે સામુહિક આકલન. ગીબસનું એન્ટ્રોપી સમીકરણ બોલ્ટ્ર્ઝમેનના એન્ટ્રોપી સમીકરણ કરતાં ફક્ત એક અચળાંક પૂરતું જ જુદું પડે છે. ટૂંકમાં,

$$S (\text{Boltzmann}) = S (\text{Gibbs}) + \text{Constant} \quad \dots \dots \dots (3)$$

એન્ટ્રોપી અને કવોંટમ વિભાવના:

એન્ટ્રોપીના ખ્યાલનો સંબંધ કવોંટમવાદ અને આધુનિક કવોંટમ મીકેનિકસ સાથે પણ જોડવામાં આવ્યો છે. અતે યાદ કરીએ કે 1900ની સાલમાં મેક્સ પ્લાકે કાળ પદાર્થના વિકિરણનો પ્રક્રિયા ઉર્જાના કવોંટમીકરણની પ્રાથમિક ધારણા આપી હતી. ત્યારબાદ ધન પદાર્થોની વિશિષ્ટ ઉભા, પરમાણુની રૂચના અને વર્ણાપટ વગેરેને અનુસ્થળીને કવોંટમવાદનું એક સ્પષ્ટ સ્વરૂપ પ્રગટયું જે છેવટે કવોંટમ મીકેનિકસમાં પરિણામ્યું. કાળ પદાર્થના વિકિરણો સંબંધે પ્લાકે જે સિદ્ધાંત-વાદ (theory) આપેલ તેમાં સાંચિકી યંત્રશાસ્ત્ર (statistical mechanics)નો આધાર લેવામાં આવ્યો હતો. પરંતુ તેમાં મુખ્ય ધારણા એ કરવામાં આવી કે, કાળ પદાર્થમાં ઉર્જાનું ઉત્સર્જન કે શોષણ અમૃત ત્રુટક જથ્થામાં જ થઈ શકે. પદાર્થમાં ઉર્જાનું ઉત્સર્જન કે શોષણ કરનાર દોલક કણ (oscillator)ની ઉર્જાને E , કહીએ અને પદાર્થના નિરપેક્ષ તાપમાનને T કહીએ તો એક વિશિષ્ટ વિધેય જેને partition function Z કહે છે, તેની વ્યાખ્યા નીચે મુજબ છે.

$$Z = \sum_i \exp(-E_i / k_B T) \quad \dots \dots \dots (4)$$

જેમાં સરવાળાનો સુચકાંક i એ કણોની તમામ સુષ્ટમ અવસ્થાઓને આવશી લે છે. નોંધવા જેવું એ છે કે $k_B T$ તે પરિભાણાની દિલ્લિએ ઉર્જા દર્શાવે છે. વિધેય Z ના વિકલ તરીકે સમગ્ર તંત્રના ગુણાધ્યર્થો વ્યક્ત કરી શકાય છે. તેના આધારે એવી તારખણી કરી શકાય કે, ઉર્જા E_i ના મુલ્યો ત્રુટક કે પૃથ્ફ (discrete) હોય છે. આધુનિક ભૌતિકશાસ્ત્રમાં કણ-તરંગ, ડ્રેટ-પ્રકૃતિ અને અનિશ્ચિતતા-સિદ્ધાંતના પાચા પર કવોંટમ મીકેનિકસની રૂચના કરવામાં આવી છે, જેની એક તારખણી એ છે કે, બદ્ધ તંત્ર (bound system)ની ઉર્જાના મુલ્યો સતત નહીં પણ પૃથ્ફ હોય છે. કવોંટમ મીકેનિકસની ગણિતશાસ્ત્રીય ભૂમિકા રૂચનામાં એક મહત્વાનું પ્રદાન જહોન ફોન નોઇમેન નામના સૈદ્ધાંતિક ભૌતિકશાસ્ત્રીએ 1930ના અરસામાં કર્યું હતું. આધુનિક પરિભાષામાં જેને Von Neumann Entropy કહે છે તેની વ્યાખ્યા નીચે આપેલ છે.

$$S(\rho) = -k_B \cdot Tr [\rho \ln \rho] \quad \dots \dots \dots (5)$$

જેમાં ρ એ ધનતા શ્રેણિક છે અને સંજ્ઞા Tr એ શ્રેણિકનો પરિવર્ત (transpose) દર્શાવે છે. આ બાબતે વિશેષ ચર્ચામાં ન પડતાં એટલું જરૂર જણાવીએ કે ρ તે મૂળભૂત રીતે સંભાવના ધનતા (probability density) છે, જે કણ કે તંત્રના કવોંટમ ગતિકીય તરંગ વિધેય (wave function) પરથી મળે છે.

એન્ટ્રોપી અને શ્યામલ ગર્ત (black hole):

એન્ટ્રોપીનો રૂઢિગત (classical) ખ્યાલ ધીમે ધીમે આગળ ધીપિને ઘરતી પરથી આસમાને જઈ પહોંચ્યો છે, અને બ્લેક હોલની એન્ટ્રોપી વિષે પણ વાતો થઈ રહી છે. શ્યામલ ગર્ત એ સમય-અવકાશમાં રહેલ ભારે બ્રલ્યુ-પદાર્થ છે કે જેની પ્રચંડ ગુરૂત્વાકર્ષણની અસરને કારણે તેમાંથી કશું જ બહાર છટકી જઈ શકે નહીં, એટલી હુદે કે પ્રકાશ કે વીજચુંબકીય તરંગો પણ નહીં. આજકાલ શ્યામલ ગર્તના ઘટના ક્ષિતિજ (event horizon)ને સમજવા માટે black hole thermodynamics નો ઉદ્ભવ થયો છે. જેમ કાળા પદાર્થના વિકિરણને સમજવા માટે સાંચ્ચિકી યંત્રશાસ્ત્રથી શરૂઆત થયેલી તેમ, હવે કહે છે કે, શ્યામલ ગર્તના સાંચ્ચિકી યંત્રશાસ્ત્રને સમજવાના પ્રયત્નમાંથી QUANTUM GRAVITYની સમજણા સ્પષ્ટ થશે. આ સંદર્ભમાં પ્રસિદ્ધ ખગોળવિજ્ઞાની સ્ટીફન હોર્કિંગ અને બેકેનસ્ટીનના નામો જાહીતા થયાં છે અને તેઓએ 'ઘટના ક્ષિતિજની' એન્ટ્રોપીનું સુત્ર પણ આપેલ છે.

3. એન્ટ્રોપી-એક નવા આધુનિક પરિપ્રેક્ષયમાં

તો મિત્રો, કલોસીથસ, બોલ્ટર્ઝમેન અને ગીબસની સંગાથે આપણે ચાત્રા શરૂ કરી અને એન્ટ્રોપીનો ઉઘાગતિકીય પરિચય મેળવ્યો. પલાંકના કવોંટમવાદને એન્ટ્રોપી સાથે સાંકળવાનો પ્રયત્ન આગળ વધતાં ફોન નોઇભિનની કવોંટમ એન્ટ્રોપી સુધી લઈ જાય છે, તો સ્ટીફન હોર્કિંગ બ્લેક હોલમાં પણ કોઈ સ્વરૂપે એન્ટ્રોપીનાં દર્શન કરે છે. ઉઘાગતિકીય ખ્યાલોનો એક નિર્જર્ખ ખૂબ રસપ્રદ અને ફિલસુફીથી ભરેલો છે. આ નિર્જર્ખ 'heat death of the universe' તરીકે પ્રસિદ્ધ છે. વિશ્વસમસ્તની તમામ ઉપયોગી ઉર્જા ખલાસ થઈ જાય અને બધે કેવળ બીનઉપયોગી ઉર્જા તથા તેને અનુરૂપ મહિતમ એન્ટ્રોપીનું સામ્રાજ્ય છવાઈ જાય એ ભાવિ પરિદ્રષ્ય (future scenario)ને બ્રહ્માંડનો એક અંત કે મૃત્યુ ગણી શકાય. આજે જો કે બ્રહ્માંડની ઉત્પત્તિ, સ્થિતિ અને લય વિષે વધુ સ્પષ્ટ વૈજ્ઞાનિક ખ્યાલો પ્રચલિત થયા છે. પરંતુ એન્ટ્રોપીની સંદર્ભમાં, અમેરિકન વિજ્ઞાનકથા લેખક Isaac Assimovએ લખેલ વાર્તા 'The Last Question' વાંચવા જેવી છે.

હવે વીસમી સદીના મદ્યબાગથી શરૂ કરીને, એન્ટ્રોપીએ ઉઘાગતિશાસ્ત્રના સીમાડાઓ પાર કરીને નવાં કલેપર સર્જેલ છે, અને માહિતી સિદ્ધાંતવાદ (Information Theory) અંતર્ગત તે એક નવો અવતાર ધારણા કરે છે. આજના Information Technologyના યુગમાં કોઈને પૂર્ણીએ કે "What is information....?" તો તે ગ્રૂચ્યવાઈને કહેશે, 'No information !' દોસ્તો, માહિતી શબ્દ કોઈ ઘટના કે સંજ્ઞા કે કોઈપણ બાબતની સાથે જોડાયેલ અર્થ તેમજ તેની પ્રસ્તુતતા (meaning and relevance) બતાવે છે. Dataના સ્વરૂપમાં તેની આપ લે થાય છે અને MBઅને GBના સ્વરૂપે માપવામાં આવે છે. કોમ્પ્યુટર કે લેપટોપના નાના દેખાતાં યંત્રમાં પણ ઘણીબધી જગ્યા એટલે કે ગુંજાશ-જેને Memory કહે છે તે-રહેલ હોય છે. ડેટાના જથ્થાને ફોલ્ડર અને ફાઈલમાં વિભાજિત કરવામાં આવે છે. સંખ્યાબંધ ફાઈલ અને ફોલ્ડરને ઠાંસીને ભરવાની વ્યવસ્થાને Compression કહે છે, જે એકત્ર થઈ Zip-file બને છે. તેને વાંચવા માટે છુટ્ટી પાડવી કે extract કરવી પડે. ફાઈલમાં તો સદેશાં, ફોટા, ગીત, વીડીયો વગરે ઘણુંઘણું હોય. તેને એકત્ર કરવામાં પૂર્ણ ચોકસાઈ ન પણ રહે અને કદાચ નુકશાન પણ થાય. જો કે પ્રયત્ન તો આબેહૂલ પૂરેપૂરી માહિતી મોકલવાનો હોય છે, પરંતુ 100% અણીશુદ્ધ નૂકશાન વગરની પુનઃપ્રાપ્તિ શક્ય નથી, અને તે બાબત કોઈ અવ્યવસ્થા કે એન્ટ્રોપીનો નિર્દેશ કરે છે.

દોસ્તો, આમ તો એન્ટ્રોપી એ નકારાત્મક અને નિરાશાજનક સંકલ્પના છે; પરંતુ બદસુરત એન્ટ્રોપીને એક ખુબસુરત મોડ મળે છે Informationના નયોદિત ખ્યાલથી. આ નવી વિચારધારાનું એટલે કે Information Theoryની રૂચના કરવાનું શ્રેષ્ઠ Claude Shannon નામના ઇજનેર વિજ્ઞાનીને જાય છે. અતે દસ્તિકોણ એ રીતે બદલાય છે કે, એન્ટ્રોપી ચાને કે માહિતીની ઉણાપનો વિચાર કરવાને બદલે ખુદ માહિતી ઉપર જ દ્યાન કેન્દ્રિત કરવામાં આવે છે. ગમે તેમ પણ કારોંટ એન્જિનિયર્સ માંડીને આધુનિક કોમ્પ્યુટર સુધીની તેમજ ઘરતીથી માંડીને આકાશના બ્લેક હોલ સુધીની ચાત્રાના દરેક પડાવમાં પ્રગટ થાય છે એન્ટ્રોપી....! એન્ટ્રોપીના અવનવા ખ્યાલોથી વાચકોના મગજમાં વધુ અવ્યવસ્થા ઉભી થાય તે પહેલાં આ લેખ પુરો કરીએ.....!!

 There are four laws of thermodynamics...0th, 1st, 2nd and 3rd...! Here is the '4th' law - a Uniqueness theorem in thermodynamics...!! 'Thermodynamics, unlike any other branch of Physics, is UNIQUE, since this is the only branch of physics where the sequence of laws starts from zero..... not from one.'

Field Concept in Physics

Dr. Nisarg K. Bhatt
Department of Physics
Sardar Patel University
Vallabh Vidynagar

This article discusses the concept of field, its role and importance in elementary and advanced level Physics. Considering an example of electromagnetic field in vacuum, the notion of field and associated mathematics is described using classical (non-relativistic) mechanics. We also touch upon field quantization, and point out some applications within the relativistic quantum field theory.

1. Introduction

In the present article, we attempt to understand the *field*, a very well-known concept or notion in physics. Perhaps, we are introduced to the word *force-field* in 8th or 9th standard for the first time. For example, we talk about gravitational field, electric field and magnetic field. So, what do we really mean by 'field'? Let us try to answer this question and also to explore related aspects such as its need in physics, associated mathematics, the concept of field in relativistic regime and quantum mechanical field.

Dictionary meaning of 'field' is, "*affected region*". For a possible definition in a lighter way, we should be thankful to Hindi cinema: for example, quite often a *villain* tells the *hero* '..... Yeh Mera Ilaka Hai...!' By this he emphasizes a 'region' where his own presence is felt or experienced. But, what is the significance of such a region or field in context of Science? This question can be answered as follows. We know that forces of Nature can be classified into two categories: (i) contact force, and (ii) non-contact force. For the case of contact force, the interaction (mechanism elucidating the effect of force) between two objects can be explained through their physical contact; but what about the second case...? For the case of non-contact forces, a question naturally arises; what is the underlying mechanism? What are those responsible '*invisible transporting carriers or trucks*' (having a universal permit!!), that carry the effect of force (in terms of potential) from one object to another? This invisible '*something*', which develops a necessary mental picture to visualize an interaction between two objects and related change in potential energy, is called *field*.

From the time of great scientists like Kepler (1571-1630), Newton (1642-1727), Boscovich (1711-1787), Laplace (1749 -1827) and others, the idea hidden in the term 'field' was in discussion; however, a true credit for giving its correct definition and contemporary meaning should be given to Faraday (1791-1867) and Maxwell (1831-1879). Perhaps, from this time (~1884) onwards, the Oxford English Dictionary has added the meaning of field as "the area or space under the influence of OR within the range of some agent". Thus, we can explain the interaction between particles or objects in terms of force-field. Now, rather than saying that a particle is applying force on another particle, we can equally say that a particle creates field surrounding to itself, and when another particle (with some specific property) enters into the field, both will experience force. So, interaction between two particles can be explained as particle-field-particle interaction. For example, a charged particle experiences force in the field of another charge.

Thus, we speak of electric field-strength \vec{E} as electric force per unit charge. That is, if \vec{F} is the force

acting on a small test charge $+q_0$, then $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$. Sometimes we speak of \vec{E} as the electric field. Also

common in Physics are scalar as well as vector fields. A simple example of a scalar field is temperature at each point in a certain region.



In the language of communication we describe interaction between two objects as *signal*, and signals reaching from one object to another give '*information*' (i.e. interaction) to the second one. In Newtonian- or Galilean-mechanics, these signals are assumed to be travelling with infinite speed and describe instantaneous interaction. Thus, in such classical mechanics these signals (which we now call field) travel with infinite speed, and therefore they represent time-independent and (only) space dependent interaction. On the contrary, as per Einstein's theory of relativity, speed of such signals or field can be very large but always finite (at the most equal to the speed of light in vacuum, $c = 3 \times 10^8$ m/s). That is, interaction between two objects (which spreads like field) will be a function of space as well as time coordinate. Effect of interaction between two particles can be experienced only after the lapse of time interval. This idea itself advocates that the field is not merely a term to provide mental imagination of an interaction, but like other physical quantities it can be described either as function or functional of space and time coordinates; i. e. '*field*' is a real physical quantity. The field possesses momentum, energy, etc. However, in contrast to functions describing particles (properties), functions (or functional) representing field are continuous functions of space and time. This difference demands that we should first examine field-equations before studying its concept and applications. Also in general, the mathematics of the field concept should not be limited to only continuous mechanical system (e.g. particles), but should be capable of describing fields which are propagating even in absence of mechanical system.

To elaborate this entire idea, we next discuss the case of electromagnetic field as an example.

2. (a) Classical Mechanics and 'Field' concept

It is seen that and it can be proved also that the majority of the fields discussed in physics can be represented by small oscillations produced in some continuous systems (media). For instance, acoustic (or sound)-field in gas is due to longitudinal oscillations of gas atoms/molecules, or elastic waves propagating through a solid substance are due to vibrating lattice-particles (ions). Similarly, electromagnetic field can be explained also in terms of 'some' kind of harmonic oscillations. It is to be recalled that, in classical electrodynamics, the fields are described in terms of 'potential energy' and 'potentials'. In the simplest time-independent case, the electrostatic field \vec{E} is the negative derivative of scalar potential Φ .

For simplicity, we write the field-strength \vec{E} and \vec{B} as $\vec{E} = -\frac{d\vec{A}}{dt} \equiv -\dot{\vec{A}}$ and $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$, respectively,

with \vec{A} as the vector potential. To understand this point, electric field produced by charged particle is represented by using Fourier integral as a plane-wave. To achieve this end, time-independent electric field is written as a superposition of such plane-waves. For example, consider a static electric field prevailing in a chargeless (e.g. vacuum) cube of length L and volume $V = L^3$. In the end, of course, we will take volume of the cube as $V \rightarrow \infty$. As explained above, all physical properties defining field can be presented as Fourier series over a volume of cube. (It is because of large but finite size of the cube.) Also, by considering space and time coordinates independent of each other (not applicable to strictly relativistic case), their effect can be written as a product of time-dependent and space-dependent functions. With this idea, a vector potential \vec{A} can be written using Fourier series expansion as follows.

$\vec{A} = \sum_{\vec{k}} \vec{a}_{\vec{k}} e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}}$; for all permissible values of \vec{k} . Or equivalently, we may also write,

$$\vec{A} = \sum_{\vec{k} > 0} \left\{ \vec{a}_{\vec{k}} e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} + \vec{a}_{\vec{k}}^* e^{-i\vec{k}\cdot\vec{r}} \right\} \quad \dots \quad (1)$$

Here, \vec{k} is a field propagation vector. Like the case of stationary waves on a string tied from both the ends, \vec{k} will take different discrete values depending on the dimension of the cube. Here, $\vec{a}_{\vec{k}}$ is a time-dependent parameter, which according to a relation $\vec{a}_{\vec{k}} \sim e^{-i\omega_k t} \equiv \vec{a}_{-\vec{k}}^* \equiv \frac{\partial \vec{a}_{\vec{k}}}{\partial t}$, depends on time. Now

$$\vec{E} \text{ can be written as, } \vec{E} = - \sum_{\vec{k} > 0} \left\{ \frac{\partial \vec{a}_{\vec{k}}}{\partial t} e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} + \frac{\partial \vec{a}_{\vec{k}}^*}{\partial t} e^{-i\vec{k} \cdot \vec{r}} \right\}.$$

In this sense, depending on the difference $(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega_k t)$, each term in Eq. (1) represents a wave travelling in \vec{k} direction. Defining $\vec{X}_{\vec{k}} = \vec{a}_{\vec{k}} + \vec{a}_{\vec{k}}^*$ and therefore $\frac{d\vec{X}_{\vec{k}}}{dt} \equiv \dot{\vec{X}}_{\vec{k}} = -i\omega_k (\vec{a}_{\vec{k}} - \vec{a}_{\vec{k}}^*)$; total energy stored in static field inside the cube is (we take $\epsilon_0 = \mu_0 = 1$),

$$\mathcal{E} \equiv \frac{1}{2} (E^2 + B^2) = \frac{V}{4\pi} \sum_{\vec{k}} \left\{ k^2 (\vec{X}_{\vec{k}}^* \cdot \vec{X}_{\vec{k}}) + (\vec{k} \times \vec{X}_{\vec{k}}) \cdot (\vec{k} \times \vec{X}_{\vec{k}}^*) \right\} \quad \dots \quad (2)$$

Equation (2) is frequently written as,

$$\mathcal{E} = \sum_{\vec{k} > 0} \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{V}{4\pi c^2} \right) |\dot{\vec{X}}_{\vec{k}}|^2 + \omega_k^2 \left(\frac{V}{4\pi c^2} \right) |\vec{X}_{\vec{k}}|^2 \right\}; \text{ with } c = \omega_k k \quad \dots \quad (3)$$

Further, writing $\sqrt{\frac{V}{4\pi c^2}} \vec{X}_{\vec{k}}$ as $\vec{Q}_{\vec{k}}$ and $\sqrt{\frac{V}{4\pi c^2}} \dot{\vec{X}}_{\vec{k}}$ as $\vec{P}_{\vec{k}}$; these new variables $\vec{Q}_{\vec{k}}$ and $\vec{P}_{\vec{k}}$ can be regarded as canonically conjugate generalized coordinate and generalized momentum, respectively. In this case Hamiltonian (= total energy) can be written as follows.

$$H = \sum_{\vec{k}} \frac{1}{2} (P_{\vec{k}}^2 + \omega_k^2 Q_{\vec{k}}^2) \quad \dots \quad (4)$$

Applying Hamilton's equation of motion to Eq. (4), viz; $\frac{\partial H}{\partial P_{\vec{k}}} = \dot{Q}_{\vec{k}}$ and $\frac{\partial H}{\partial Q_{\vec{k}}} = -\dot{P}_{\vec{k}}$, we can write an equation for canonical conjugate coordinate $\vec{Q}_{\vec{k}}$ as $\ddot{\vec{Q}}_{\vec{k}} + \omega_k^2 \vec{Q}_{\vec{k}} = 0$. This is precisely an equation for a particle of unit mass performing simple harmonic motion (SHM) with angular frequency ω_k . This similarity suggests that coordinates representing electromagnetic field and therefore the field itself and associated all physical quantities (e.g. Hamiltonian Eq. (4)) can be understood by comparison with the corresponding physical quantities of simple harmonic oscillator (SHO).

2. (b) Quantum Mechanical Field

In the quantum mechanical approach, generally space-dependent part is written as a function, while time-dependent parameters $\vec{a}_{\vec{k}}$ and $\vec{a}_{\vec{k}}^*$ are regarded as non-commutative adjoint abstract operators; i.e. $\vec{a}_{\vec{k}} \rightarrow \hat{a}_{\vec{k}}$ and $\vec{a}_{\vec{k}}^* \rightarrow \hat{a}_{\vec{k}}^\dagger$, and therefore $\vec{Q}_{\vec{k}} \rightarrow \widehat{Q_{\vec{k}}}$ and $\vec{P}_{\vec{k}} \rightarrow \widehat{P_{\vec{k}}}$. In this regard, the quantum commutation condition (basically, Heisenberg uncertainty principle between canonically conjugate quantities) between $\widehat{Q_{\vec{k}}}$ and $\widehat{P_{\vec{k}}}$ is given by $[\widehat{Q_{\vec{k}}}(\vec{r}), \widehat{P_{\vec{k}}}(\vec{r}')] = i\hbar\delta(\vec{r} - \vec{r}')$. Here, $\delta(\vec{r} - \vec{r}')$ is the Dirac delta function representing continuum singularity. In this language, $\hat{a}_{\vec{k}}$ and $\hat{a}_{\vec{k}}^\dagger$ behave as annihilation (or destruction) and creation operators, respectively. Also, the product $\hat{a}_{\vec{k}}^\dagger \hat{a}_{\vec{k}} = \widehat{N_{\vec{k}}}$ acts as *number* operator. The number operators are those whose eigenvalues are positive integers including zero. Thus, in the language of quantum mechanical operators, the Hamiltonian operator and corresponding energy eigenvalue (total energy) associated with static electromagnetic field (which is equivalent to SHO) are given (after some algebra) by,

We can realize that the second of above equation (5) is nothing but Planck's quantum hypothesis. This in the present case reads as follows; "energy associated with each plane electromagnetic wave is equal to integral multiple of fundamental quantum of energy, $hf = \hbar\omega$. A quantum of electromagnetic field is known as *photon*. (Similarly, we can think of quantization of elastic waves in lattice as *phonon*, etc.) A term $\frac{1}{2}\hbar\omega$ is the very significant zero-point energy. When added for all possible (infinitely large) different values of k , the sum of second term in Eq. (5) gives infinite energy. Nonetheless, this infinite amount of energy is distributed equally $\equiv \frac{1}{2}\hbar\omega$ among infinitely large \vec{k} -states. Thus, the above example, Eq. (5),

illustrates the concept of field-quantization; i.e. how field (\equiv wave) goes over to particle. Since each \vec{k} -mode is quantized (particle character), n_k can be interpreted as number of particles. From this point of view, equation (5) is said to be representing Hamiltonian of a system made up of infinite SHO. Thus, the quantized-field theory just discussed is equivalent to the Schrödinger equation of infinitely many *non-interacting* particles, which is analogue to the normal modes of vibrating coupled oscillators in classical mechanics. It is now natural that a system that comprises of infinitely large number of particles has infinite degrees of freedom. In three dimensions monatomic gas has three degrees of freedom; diatomic molecule has either six or five (rigid rotor) degrees of freedom or, so on. With this understanding, we arrive at the quantum mechanical definition of the field.

"A system having infinite degrees of freedom is known as Field" - and it can be described by space and time dependent amplitudes at all points in space.

In this regard, the amplitude $\hat{\psi}(\vec{r}; t)$ and its complex conjugate $\psi^*(\vec{r}; t)$, now operator $\hat{\psi}^\dagger(\vec{r}; t)$,

representing field play the role of generalized field-coordinate and generalized canonically conjugate field-momentum, respectively. Thus, quantum condition on these canonical pair reads as, $[\widehat{Q}_{\vec{k}}(\vec{r}), \widehat{P}_{\vec{k}}(\vec{r}')] \equiv [\widehat{\psi}(\vec{r}; t), \widehat{\psi}^\dagger(\vec{r}'; t)] = i\hbar\delta(\vec{r} - \vec{r}')$. This fact leads to significant conceptual improvement. For example, a scalar field (also known as Schrödinger field) $\widehat{\psi}(\vec{r}; t)$ obeys time dependent Schrödinger equation, viz;

$$i\hbar \frac{\partial \widehat{\psi}(\vec{r}; t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \widehat{\psi}(\vec{r}; t) + V \widehat{\psi}(\vec{r}; t) \quad \dots \dots \dots (6)$$

Recalling that in the quantum mechanics of *particle* dynamics, physical quantities deduced from Eq. (6) are quantized quantities. Since in the *continuum*-dynamics (field theory) field-coordinates $\widehat{\psi}(\vec{r}; t)$ themselves are quantized through above mentioned delta relation; so to speak, the system is further '*quantized*' at higher level. In this sense, it is the second time that Eq. (6) is quantized. Thus, the field quantization is also referred to as ***second quantization***.

2. (c) Relativistic Quantum Field and Applications

The main motive of the relativistic quantum field theory (RQFT) is to describe the dynamics of the field by writing either a Lagrangian or a Hamiltonian density in terms of field components of a system with an infinite number of degrees of freedom, and then by employing the action principle of the quantum mechanics. In genuine relativistic regime, kinetic energy of a system may become comparable or even more than its rest-mass energy. According to the principle of mass-energy equivalence of relativity, this fact gives rise to creation of new particles at these energies. Obviously then, conservation of particle number cannot be expected in relativistic quantum mechanics. The RQFT fundamentally violates the conservation of number of particle!!! Thus, it's not only the quanta of the electromagnetic field but also other particles (including particles having non-zero rest mass) may be born and disappear as a result of their interaction with other particles. This idea is the basis of modern RQFT and the theory of elementary particles. Thus, the RQFT aims to describe the creation and destruction of particles. In this sense, the RQFT can be visualized as an extension of the particle dynamics, and is helpful in describing a situation where number of particles does not remain conserved before and after an interaction. Following decay process illustrates non-conservation of particles.

- (i) High energy photon, $h\nu \rightarrow e^- + e^+$ (Pair-production)
- (ii) $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ (β -decay process) Here, $\bar{\nu}$ represents anti-neutrino.

It is found that larger the energy involved in the interaction, larger the number of particles (= quantized form of energy and matter), either created or destroyed.

A further boost to RQFT came from the Dirac's relativistic equation. Unlike the Schrödinger wave equation, the Dirac wave equation satisfies both the Lorentz invariance (treating space and time coordinate on equal footing) and the rules of quantum mechanics. The Dirac field equation can naturally incorporate the spin-½ value and magnetic moment of the electron (in general all spin-½ fermions), and can predict the hydrogen spectra more accurately. This led to a foundation of associating the concept of '*spin*' to quantum mechanical field. Not only that, a major outcome of the Dirac field theory is the existence of *anti-particle* (hole) which arises from the explanation of the *negative-energy states* through plane-wave solution of the Dirac equation.

Based on the intrinsic spin, we can classify the field as scalar (spin, $s = 0$), spinor ($s = 1/2$), vector

($s = 1$) or tensor ($s > 1$). It is to be noted that the field always decays with space and time coordinates. Nevertheless, its scalar, vector or tensor properties will be retained. Since space-time decay process of field does not alter its spin property, it is said to be an *intrinsic* property like its charge. These intrinsic properties and associated symmetry conservation and symmetry breaking rules determine internal structure of the field and its quantization. This has opened up varieties of new aspects in modern physics, challenging and going beyond the present mental perception leading to philosophical regime.

To list a few, the other major successes and theoretical progress in this area are (i) interpretation of a quantum field theory of photons and electrons - quantum electrodynamics QED, (ii) quantum chromodynamics QCD, (iii) grand unified quantum field theory, etc.

As a final remark, due to historical reason relativity was always associated to mass of a system; in RQFT we use *natural system of units* (nsu). In nsu, $\hbar = c = 1$ are dimensionless, and therefore all physical quantities are expressed with dimension of mass.

3. Summary and Conclusions

In the present article, starting with elementary understanding of the field-concept, non-relativistic classical description to relativistic quantum mechanical description of the field is presented. Taking an example of electromagnetic field the underlying concept is elaborated. Firstly, it was shown that electromagnetic field can be cast into the frame-work of SHO, and then by applying the rules of quantum mechanics for SHO the quantization of field was explained in a straight forward way. It is realized that the basic assumption of quantized field theory is the *continuum* postulate. Its use and necessity in nuclear physics and high-energy particle physics is illustrated through RQFT. It was demonstrated that the RQFT is also useful when number of particles is not conserved. For example, its application in the Large Hadron Collider (LHC) process, is now well known. In a quest to know how particles are assigned mass through the Higgs mechanism, in LHC a head-on collision of very high energy hadrons (e.g. protons) is performed. This results into a *zoo* of particles. A satisfactory theoretical explanation can be given in terms of field-creation and field-annihilation operators. Thus, we can conclude that the field theory represents a genuine *many-body* theory formulated in terms of continuous space-time coordinate and other intrinsic parameters of the system. However, it is also to be noted that some of the aspects pertaining particularly to relativistic gravitational-field (\equiv wave), its quantization and symmetry etc are beyond the scope of the present article.

References and Further Reading:

- 1) *The Classical Theory of Fields* - L. D. Landau and E. M. Lifshitz, 4th edition, Pergamon Press (1975)
- 2) *Classical Mechanics* - H. Goldstein, Addison-Wesley Pub. Co., Inc. (1959, and subsequent editions)
- 3) *Classical Electrodynamics* - J. D. Jackson, Wiley (1998)
- 4) *Quantum Mechanics* - L. I. Schiff, 3rd edition, McGraw-Hill (1968)
- 5) *Lectures on Quantum Field Theory* - A. Das, World Scientific Pub. Co. Ltd. (2008)

વર्णपटविज्ञान અને તેના બહुવિધ ઉપયોગો

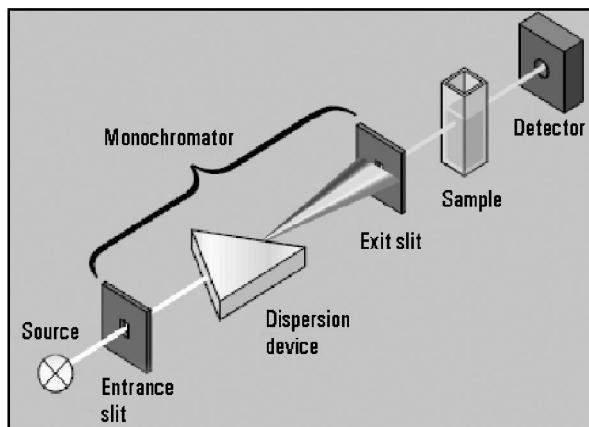
ચૈતન્ય જી. કરથીયા
સાયન્ટિફિક આસ્િસ્ટન્ટ, ફિઝિકલ વિલાગ
ડિજિટાલ ફોરેન્સિક સાયન્સ લેબોટેટરી, રાજકોટ

સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી-વર્ણપટવિજ્ઞાન ભૌતિકશાસ્ત્રની મહત્વની શાખા છે. રોજબરોજના જીવનમાં અને અન્યત્ર તેનો બહોળો ઉપયોગ થાય છે. ભૌતિક, રસાયણ અને જીવ વિજ્ઞાન, વગેરે ઉપરાંત ફોરેન્સિક સાયન્સ (ન્યાયસહાયક વિજ્ઞાન)માં પણ તેનો બહોળો ઉપયોગ થાય છે. આ લેખમાં આ શાખાની પેટાશાખાઓ અને તેના ઉપયોગો વિશે માહિતી આપવામાં આવી છે.

SPECTROSCOPY (વર્ણપટવિજ્ઞાન)માં સમાચેલ શબ્દ "SPECTRUM" એટલે કે "વર્ણપટ"થી જે આપણે પરિચિત હીએ. કોઈ પ્રિઝમ ઉપર સફેદ પ્રકાશને ચોગ્ય રીતે આપાત કરતાં, તે સફેદ પ્રકાશનું વિભાજન (Dispersion), સાત-મુખ્ય રંગો (જા-ની-વા-લી-પી-ના-રા)માં થાય છે. આ સાત પ્રકાશિય રંગો એક વર્ણપટની રૂચના કરે છે, જેને દ્રશ્ય વર્ણપટ (Visible Spectrum) કહે છે. વર્ણપટવિજ્ઞાનની શરૂઆત તો ન્યુટનના સમયથી થઈ પરતુ તેની ખરી સમજણા પરમાણુનું બંધારણ જાણ્યા પછી રૂપદ્ધ થઈ. બીજી રીતે કહીએ તો બોહ્રના પરમાણુ મોડેલ પછી આ બંનેનો વિકાસ એકબીજા પર આધારિત રહ્યો. કોઈ પરમાણુનો ઇલેક્ટ્રોન બાબ્દું ઉર્જા મળતાં ઉત્તેજિત થઈ પોતાની સ્થાયી કક્ષાને બદલે ઉચ્ચ ઉર્જા ધરાવતી કક્ષામાં જાય (સંકાંતિ કરે) અને પછી ફરી પોતાની મૂળ કક્ષામાં પાછો ફરે ત્યારે આ બે કક્ષાઓ વચ્ચેના ઉર્જા તશ્વારત જેટલી ઉર્જાનું ઉત્સર્જન કરે એટલે ચોક્કસ તરંગાંબાઈ ધરાવતા વિકિરણનું ઉત્સર્જન થાય તથા તેને અનુસૃત રેખા, વર્ણપટમાં પ્રાપ્ત થાય. તેથી ઉલ્લંઘન તેટલી જ ઉર્જાનું શોષણ થાય તો વર્ણપટની પાર્શ્વભૂમાં તે કાળી-શોષણ રેખા (Absorption Line) તરીકે જોવા મળે.

આમ વર્ણપટ એ કોઈ પરમાણુ/અણુ કે દ્રવ્યના હસ્તાક્ષર (Signature) જોવો છે. આથી તેનો ઉપયોગ વિવિધ ક્ષેત્રોમાં થાય છે. ફોરેન્સિક વિજ્ઞાનમાં પણ તેનો ઉપયોગ બહોળા પ્રમાણમાં થાય છે. વાસ્તવમાં એ એક પ્રકારનો આલેખ (Graph) છે. તે કોઈ દ્રવ્યની ચોગ્ય વિકિરણ સાથેની વર્તણુંક (Response) વિદુક્ષ તરંગાંબાઈ (આવૃત્તિ)નો આલેખ છે. કોઈ વર્ણપટનો અભ્યાસ કરવા માટે બે બાબતો જરૂરી છે; પ્રથમ વર્ણપટ રેખાઓમાં, રેખાઓનો પ્રકાર/સંખ્યા અને બીજું વર્ણપટ રેખાઓની પહોળાઈ. આ બંને રાશિઓ જુદા-જુદા પદાર્થો માટે જુદા-જુદા આપાત પ્રકાશ માટે જુદી-જુદી હોય છે. જેના પરથી દ્રવ્યનું બંધારણ, દ્રવ્ય અને દ્રવ્ય-કારોના પરિમાણો, દ્રવ્યના ગુણધર્મો વગેરે જેવી અનેક બાબતોનો અભ્યાસ કરી શકાય છે.

કોઈ દ્રવ્યના નમૂના/સેમ્પલભાં કોઈ નિશ્ચિત તત્ત્વ/સંયોજનનું પ્રમાણા/સાંક્રતા અને તેનો પ્રકાર જાણવા માટેના અભ્યાસને SPECTROSCOPY/SPECTROMETRY તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. આવા અભ્યાસમાં આવું કાર્ય જે ઉપકરણ/ચંત્ર વડે કરવામાં આવે છે, તેને SPECTROMETER/SPECTROGRAPH કહેવાય છે. SPECTROSCOPYનો ઉપયોગ રસાયણવિજ્ઞાન,



આફ્ટિ-1

ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં અને જીવવિજ્ઞાનમાં થાય છે. તેમજ ખગોળવિજ્ઞાનમાં અવકાશી પદાર્થોના અભ્યાસમાં થાય છે. જેમ કે અવકાશી પદાર્થોનું બંધારણ જાણવા, ભૌતિક ગુણધર્મો જાણવા તેમજ Doppler Shift વડે તેમની ગતિ/વેગ જાણવા માટે થાય છે.

આફૃતિ-1માં એક સામાન્ય પ્રકારના સ્પેક્ટ્રોમેટરની રૂચના દર્શાવેલ છે. જેમાં પ્રકાશ ઉદ્ગામ (Source)માંથી ઉદ્ભવતો પ્રકાશ એક સ્લીટમાંથી પસાર થતાં તેનું સાંકડું પ્રકાશ કિરણજૂથ (Beam) રૂચાય છે. જે કિરણજૂથનું પ્રિઝમ દ્વારા વિભાજન (Dispersion) થાય છે. ત્યારબાદ વિભાજિત થયેલો પ્રકાશનું એક અન્ય સ્લીટ દ્વારા સાંકડું કિરણજૂથ રૂચાય છે. તે કિરણજૂથ જે નમૂના/સેમ્પલનું પૃથ્થકરણ/વિશ્લેષણ કરવાનું છે, તેના ઉપર આપાત કરવામાં આવે છે. ત્યારબાદ તે નમૂના દ્વારા શોષિત/ઉત્સર્જિત કે પ્રકીર્ણિત પ્રકાશ એક ડિટેક્ટર દ્વારા જીલવામાં આવે છે. જે શોષિત/ઉત્સર્જિત કે પ્રકીર્ણિત પ્રકાશ ઉપરથી આપેલા નમૂનાનું પૃથ્થકરણ/વિશ્લેષણ કરવામાં આવે છે. SPECTROSCOPY નો પ્રકાર એ, કઈ ભૌતિક રાશનું માપન કરવાનું છે, તેના ઉપર આધાર રાખે છે. સામાન્ય રીતે દ્રવ્ય દ્વારા શોષાતી કે ઉત્સર્જિતી વિકિરણ ઉજીની તીવ્રતા (Intensity) નું માપન કરવામાં આવે છે. મોટા ભાગની પદ્ધતિઓ દ્રવ્યના બંધારણીય કણો અને તેમના પ્રકાર ઉપર આધારિત હોય છે. જેમ કે જે દ્રવ્યના બંધારણીય કણો તરીકે પરમાણુઓ (Atoms) હોય તો તે રીતને Atomic Spectroscopy તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. તેમજ જે દ્રવ્યના બંધારણીય કણો તરીકે અણુઓ (Molecules) હોય તો તે અનુસાર તેને Molecular Spectroscopy તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. આ સંદર્ભે વપરાતી રીતોનું વર્ગીકરણ નીચે મુજબ છે:

- (1) **Electro-Magnetic Spectroscopy :** આ પ્રકારની રીતમાં દ્રવ્ય અને વિદ્યુત-ચુંબકીય વિકિરણ વર્ચ્યે થતી આંતરક્ષિયા વડે દ્રવ્યનો અભ્યાસ થાય છે. જેમ કે, X-Ray Spectroscopy, UV Spectroscopy, Visible-IR-Spectroscopy વગેરે. આ દરેક રીતો સાથે સંકળાયેલ Spectrometers, જેમ કે UV-Spectrometer, IR-Spectrometer, FTIR-Spectrometer વગેરેનો ઉપયોગ ફોરેન્સિક વિજ્ઞાનમાં જુદા-જુદા પ્રકારના વિશ્લેષણ માટે થાય છે. દા.ત. દ્રશ્ય-પ્રકાશ અને ઇન્ફરેડ-કિરણો દ્વારા પેઇન્ટસ તેમજ અન્ય કાર્બનિક સંયોજનોનો અભ્યાસ કરવા માટે ફોરેન્સિક વિજ્ઞાનમાં Micro-Spectro-Photometers (MSPs) નામના ઉપકરણનો ઉપયોગ થાય છે. તેમજ Visible Spectral Comparator (VSC) નામના ઉપકરણમાં Visible તેમજ IR અને UV- કિરણોના ઉપયોગથી ચલણી નોટો, કાયદાકીય દર્સાવેજો, માલ-સામાનના પેંકિંગનું દ્રવ્ય વગેરેનો અભ્યાસ કરવામાં આવે છે.
- (2) **Electron Spectroscopy:** આ પ્રકારની રીતમાં દ્રવ્ય અને ઇલેક્ટ્રોનની ધારા (Beam) વર્ચ્યે થતી આંતરક્ષિયા વડે અભ્યાસ થાય છે. જેમ કે, Auger Spectroscopyમાં Electron-Beam વડે Auger Effect દ્વારા દ્રવ્યનો અભ્યાસ કરવામાં આવે છે. તેમાં કોઈ નમૂના ઉપર ઇલેક્ટ્રોનની ધારા આપાત કરતાં નમૂનાના પરમાણુઓ સાથે તેની આંતરક્ષિયા થતાં ઉત્પન્ન થયેલ આચન્સ અને ઇલેક્ટ્રોનની જુદી-જુદી સ્થિતિ/સ્થાને ગતિઓર્જના માપન કરવામાં આવે છે, જે ગતિઓર્જ ઉપરથી આપેલા નમૂનાની પરખ થાય છે. આ રીત સાથે સંકળાયેલ Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS)નો ઉપયોગ ફોરેન્સિક વિજ્ઞાનમાં દ્રવ્યના સૂક્ષ્મ બંધારણો અભ્યાસ કરવા માટે અને Micro-Photography કરવા માટે થાય છે.
- (3) **Mass Spectrometry:** આ પ્રકારની રીતમાં વિદ્યુતભારીત દ્રવ્ય-કણો યાને કે આચન્સો સાથે ચુંબકીય અને /અથવા વિદ્યુત ક્ષેત્ર વર્ચ્યે થતી આંતરક્ષિયાના પરિણામ સ્વરૂપે દળ વર્ણપત્ર (Mass Spectra) મેળવવામાં આવે છે. Mass Spectrometer નામના ઉપકરણમાં જે દ્રવ્યનો અભ્યાસ કરવાનો છે, તે દ્રવ્યના બંધારણીય કણો, પરમાણુ-અણુના આચન્સો તેમના દળ (mass) પ્રમાણે અલગ થાય છે. ત્યારબાદ આ ઉપકરણ તેના દળ પરથી તે દ્રવ્યના બંધારણીય કણોને ઓળખે છે. જો કોઈ દ્રવ્ય એક કરતાં વધારે પદાર્થોનું બનેલું હોય તો તે દરેક પદાર્થોના બંધારણીય કણો તેમના દળ પ્રમાણે અલગ થાય છે અને તેની પરખ થાય છે. આ રીતનો ઉપયોગ ફોરેન્સિક વિજ્ઞાનમાં પેટ્રોલિયમ પ્રોડક્ટ્સ, ઓઈલ પેઇન્ટ્સ, અન્ય કાર્બનિક સંયોજનો તેમજ કેટલાક અકાર્બનિક સંયોજનોની ઓળખ મેળવવામાં કરવામાં આવે છે. જેમ કે Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) નો ફોરેન્સિક સાયન્સમાં ઉપયોગ કેટલાક પ્રકારના સંયોજનોના ભૌતિક તેમજ રાસાયનિક ગુણધર્મોના અભ્યાસ માટે થાય છે. તેમજ Gas-Chromatograph Mass-Spectrometer (GC-MS)નો ફોરેન્સિક સાયન્સમાં ઉપયોગ રાસાયનિક ઝેરનો પ્રકાર શોધવા તેમજ પેટ્રોલિયમ પ્રોડક્ટ્સમાં થયેલ બેળસેળની ચકાસણી કરવા માટે થાય છે.

આ જ રીતે શ્રાવ્ય વર્ણપત્રવિજ્ઞાન (Acoustic Spectroscopy)માં ધ્વનિતરંગોની આવૃત્તિનો ઉપયોગ કરીને કોઈ પદાર્થના ભૌતિક ગુણધર્મો જાણી શકાય છે. તેમજ Dielectric Spectroscopyમાં બાધ વિદ્યુતક્ષેત્રની આવૃત્તિનો ઉપયોગ કરીને કોઈ પદાર્થના

વિદ્યુતીય ગુણધર્મો જાણી શકાય છે અને Mechanical Spectroscopy માં બાબ્ધ પ્રતિબળની આવૃત્તિનો ઉપયોગ જુદા-જુદા ધાતુ અને અધાતુ પદાર્થોના ભૌતિક ગુણધર્મો ચકાસવા માટે થાય છે. Spectroscopyનું ઉપરોક્ત વર્ગિકરણ દ્રવ્યકણો જેમ કે પરમાણુ-અણુ પરની અસરના/ઉતેજનાના પ્રકારને આધારે કરવામાં આવે છે. તે જ રીતે ઉપર જણાવ્યું તેમ માપન પદ્ધતિને આધારે તેનું વર્ગિકરણ નીચે મુજબ કરવામાં આવે છે.

- (1) **Absorption Spectroscopy :** અત્રે પદાર્થ/દ્રવ્ય દ્વારા વિદ્યુત-ચુંબકીય વર્ણપટના જે વિસ્તારના વિકિરણનું શોખણ થાય છે તેનું વિશ્લેષણ કરવામાં આવે છે. આ રીતમાં Atomic Absorption Spectroscopy અને બીજી ઘણી Molecular Techniques, જેમ કે Infrared (IR) Spectroscopyમાં વિદ્યુત ચુંબકીય વર્ણપટના Infrared વિસ્તારનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopyમાં વિદ્યુત ચુંબકીય વર્ણપટના Radio Wavesનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. આ પ્રકારની એક રીતનું ઉદાહરણ અહીં રજૂ કરેલ છે.

Atomic Absorption Spectroscopy : આ રીતમાં કોઈ પદાર્થ/દ્રવ્યના પરમાણુઓના ઇલેક્ટ્રોનને નિશ્ચિત તરંગલંબાઈ (આવૃત્તિ) ધરાવતી ઊર્જા નિશ્ચિત જથ્થામાં અપાતા તેઓ ઊંચી કક્ષામાં સંકાંતિ કરે છે. આ ઊર્જા આપેલા દ્રવ્યના નિશ્ચિત ઇલેક્ટ્રોનની સંકાંતિ માટે લાક્ષણિક હોય છે. એટલે કે કોઈ એક નિશ્ચિત તરંગલંબાઈ આપેલા કોઈ એક જ દ્રવ્ય સાથે સંકળાયેલી હોય છે. જેનો ઉપયોગ કરીને કોઈ દ્રવ્યની આપેલા દ્રવ્યણમાં સાંક્રતા કેટલી છે તે નક્કી કરી શકાય છે. આ રીતનો ઉપયોગ કરી કોઈ દ્રવ્યણમાં પરમાણુ કમાંક-70 સુધીના તરફોની હાજરી અંગેની તપાસ કરી શકાય છે.

- (2) **Emission Spectroscopy:** આ અભ્યાસ વિકિરણના ઉત્સર્જન પર આધારિત છે. આ પ્રકારના અભ્યાસ માટે પ્રથમ દ્રવ્ય વિકિરણ ઊર્જાનું શોખણ થવું જરૂરી છે. આ ઊર્જા ધણા પ્રકારના સોત (Source) દ્વારા મેળવી શકાય છે, જેમાં દ્રવ્ય દ્વારા થતાં ક્રમિક ઉત્સર્જનનો પ્રકાર નક્કી થાય છે. જેમ કે, Luminescence Spectroscopy. આ પ્રકારની એક રીતનું ઉદાહરણ અહીં રજૂ કરેલ છે.

Atomic Emission Spectroscopy : આ રીતમાં કોઈ પદાર્થ/દ્રવ્યના પરમાણુઓના ઇલેક્ટ્રોનને Atomic Absorption Spectroscopyની સરખામણીએ વધુ ઊર્જા આપતાં તે પરમાણુઓ ઉતેજિત અવસ્થા પ્રાપ્ત કરે છે. આ ઊર્જા ઊર્જાઊર્જા સ્વરૂપે કોઈ જ્યોત (Flame) દ્વારા આપી શકાય છે. ઉતેજિત થયેલા પરમાણુઓ પોતાનામંથી ઊર્જાનું ઉત્સર્જન વિકિરણ સ્વરૂપે કરે છે. આ વિકિરણ ઊર્જા (પ્રકાશ) ને બહુરૂગ વર્ણક (Polychromator)માંથી પસાર કરતાં પ્રકાશની તીવ્રતા વિસુદ્ધ તરંગલંબાઈનો એક વર્ણપટ મળે છે. આ વર્ણપટમાં જો એક કરતાં વધુ તરંગલંબાઈ હાજર જણાય તો, તે એવું પ્રસ્થાપિત કરે છે કે આપેલા દ્રવ્યમાં એક કરતાં વધુ તત્વો હાજર હોય. પ્રત્યેક તરંગલંબાઈ જે-તે નિશ્ચિત તત્વ માટે લાક્ષણિક હોય છે. આ રીતનો ઉપયોગ કરીને આપેલા દ્રવ્યમાં રહેલા તત્વોનો પ્રકાર જાણી શકાય છે.

- (3) **Scattering / Raman Spectroscopy:** આ રીતમાં પદાર્થ/દ્રવ્ય દ્વારા નિશ્ચિત તરંગલંબાઈએ, આપાતકોણે અને ધૂલીભવન કોણે પ્રકીર્ણન પામતી વિકિરણ ઊર્જાનો જથ્થો માપવામાં આવે છે. પ્રકીર્ણનની પ્રક્રિયા શોખણ અને ઉત્સર્જનની પ્રક્રિયા કરતાં ઝડપી થાય છે. આ રીતનું ખૂબ જ જાણીતું ઉદાહરણ Raman Spectroscopy છે, જેના ધણા ઉપયોગો છે. જેમ કે FT-Raman Spectrometer નામના ઉપકરણનો ઉપયોગ ફોરેન્સિક વિજ્ઞાનમાં જુદા-જુદા પ્રકારના દ્રવ્યો/પદાર્થો જેમ કે નાકોટિક ડ્રાસ, ફાર્માસ્યુટિકલ ડ્રાસ વર્ગેને ઓળખવા માટે તેમજ તેમનું પ્રમાણ જાણવા માટે થાય છે.

Raman Spectroscopy: આ રીત એકરંગી પ્રકાશ (Monochromatic Light)ના અણુઓ સાથેના અસ્થિતિસ્થાપક પ્રકીર્ણન (Inelastic Scattering) પર આધારિત છે, જેને “રામન પ્રકીર્ણન” તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. પ્રો. સી.વી. રામનને આ શોધ બદલ નોબેલ પારિતોષિકથી સન્માનિત કરવામાં આવ્યા હતા. આ અસરમાં જ્યારે વાયુ, પ્રવાહી કે પારદર્શક ધન પદાર્થ ઉપર શક્તિશાળી દ્રવ્ય-પ્રકાશ કે UV પ્રકાશ આપાત કરવામાં આવે ત્યારે તેનો થોડો ભાગ બધી દિશાઓમાં પ્રકીર્ણન અનુભવે છે. જો આ પ્રકેરિત પ્રકાશનો વર્ણપટ લેવામાં આવે તો, તે વર્ણપટ આપાત થયેલા મૂળ પ્રકાશની પ્રમાણમાં વધુ તીવ્રતાવાળી રેખાઓ અને તેની બંને બાજુ ઓછી તીવ્રતાવાળી/કાંખી તેમજ બદલાઈ ગયેલી તરંગલંબાઈ ધરાવતી રેખાઓનો બનેલો જોવા મળે છે. આ વર્ણપટની મધ્યમાં આવેલ મૂળભૂત/આપાત થયેલ પ્રકાશની રેખાઓને “રૈલે રેખાઓ” અને તેની બંને બાજુ જોવા મળતી કાંખી રેખાઓને “રામન રેખાઓ” કહે છે. આ રામન રેખાઓથી બનતા વર્ણપટને “રામન વર્ણપટ” કહે છે. રામન રેખાઓ રેલે રેખાઓની બંને બાજુએ સંમિત રીતે ગોઠવાયેલી હોય છે. આ વર્ણપટમાં જોવા મળતી ઓછી આવૃત્તિ ધરાવતી રેખાઓને “Stokes Lines”

અને વધુ આવૃત્તિ ઘરાવતી રેખાઓને "anti-Stokes Lines" તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. આ બંને પ્રકારની રેખાઓને જે-તે પદાર્થની લાક્ષણિકતા દર્શાવે છે.

આ રીતનો ઉપયોગ રસાયણ વિજ્ઞાનમાં ઘણી રીતે થાય છે, જેમ કે કોઈ આણુના રસાયણિક બંધમાં થતાં ફેરફારોનો અભ્યાસ કરવા માટે થાય છે. મેડિકલ સાયન્સમાં કોઈ સર્જરી દરમયાન Anesthetic Gas અને Respiratory Gas (શ્વસન વાયુ)ના મિશ્રણનું સંતુલન જાણવા માટે થાય છે. ધન પદાર્થ વિજ્ઞાનમાં પદાર્થોનાં વર્ગીકરણ માટે, ઓળખ માટે, તેમના તાપમાનો જાણવા માટે અને સ્કટિકમય પદાર્થોના બંધારણના અભ્યાસ માટે થાય છે. તેમજ અતિવાહકો (Super-Conductors)ના અભ્યાસ માટે પણ આ રીત વપરાય છે. કોઈ ફાર્માસ્યુટિકલ કે નાર્કોટિક ડ્રગને ઓળખવા કે તેનું બંધારણ જાણવા માટે, ઐતિહાસિક દસ્તાવેજોનો અભ્યાસ માટે અને દસ્તાવેજોનું રસાયણિક બંધારણ જાણવા માટે તેમજ એરપોર્ટ્સ ઉપર વિસ્કોટ્કોની હાજરી તપાસવા માટે આ રીતનો ઉપયોગ થાય છે. ઉપરાંત ખુબજ નાની સાઈઝ (< 1 micron) ઘરાવતા સેમ્પલનું એનાલિસિસ આ રીતની મદદથી કરી શકાય છે, જે આ રીતની લાક્ષણિકતા છે, જેને લીધે આ રીતનો ઉપયોગ મિનરલ્સ, પોટીમર્સ, સિરામિક્સ, સજુવકોષો, પ્રોટીન્સ વગેરે જેવા દ્રવ્યોના અભ્યાસ માટે થાય છે. તેમજ પાણીની શુદ્ધતા તપાસવા માટે, અણુઓના આકાર જાણવા માટે, ધન-સ્કટિક તેમજ પ્રવાહી-સ્કટિકોના અભ્યાસ માટે, પદાર્થોના ભૌતિક ગુણધર્મો ચકાસવા માટે, પદાર્થોના જુદા-જુદા ઉતેજોના અભ્યાસ માટે, ઓપ્ટિકલ એમ્પ્લિફાર્યર્સમાં, જૈવિક પ્રક્રિયાઓ અને જૈવિક તંતુઓના અભ્યાસ માટે આ સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીનો ઉપયોગ થાય છે.

ઉપરાંત કેટલીક વિશેષ ઘટનાઓ ઉપર આધારિત રીતો પણ વિકસાવવામાં આવી છે, જે આ મુજબ છે:

Fluorescence Spectroscopy: આ રીત પ્રસ્કુરણ ઉપર આધારિત છે, જેમાં પદાર્થ/દ્રવ્ય ઉપર ઊંચી આવૃત્તિ/ઊર્જા ઘરાવતા વિકિરણનું આપાત કરતાં તે દ્રવ્ય ઉતેજિત અવસ્થામાં આવે છે અને ત્યારબાદ તે નીચી આવૃત્તિ/ઊર્જા ઘરાવતા ફોટોન (વિકિરણ)નું ઉત્સર્જન કરે છે. આ પ્રક્રિયા જૈવરસાયણિક અને મેડિકલ સેન્ટ્રને લગતા ઉપયોગોમાં ઘણી પ્રચલિત છે. તેમજ આ રીત ફોરેન્સિક વિજ્ઞાનમાં કાચ, પ્લાસ્ટિક, રંગકો (Color dyes) જેવા વિવિધ પ્રકારના પદાર્થોનો અભ્યાસ કરવા માટે થાય છે.

X-Ray Spectroscopy: જ્યારે કોઈ પદાર્થ/દ્રવ્ય ઉપર ક્ષ-કિરણો (X-Rays) ને આપાત કરવામાં આવે છે ત્યારે, તે દ્રવ્યના પરમાણુઓના ઈલેક્ટ્રોન સંકાંતિ કરે છે અથવા તો તે મુક્ત બને છે. જેને લીધે કાં તો વિકિરણ સ્વરૂપે ઊર્જા ઉત્સર્જય છે અથવા તો ઊર્જાનું શોષણ થાય છે. ઉત્સર્જાતા કે શોષણતા વિકિરણની આવૃત્તિ/ઊર્જા એ જે તે દ્રવ્યના પરમાણુની એક આગવી લાક્ષણિકતા હોય છે. નિશ્ચિત દ્રવ્યના પરમાણુ સાથે કોઈ નિશ્ચિત ઊર્જા સંકળાયેલ હોય છે, જે દ્રવ્ય ઉપર ક્ષ-કિરણો આપાત થતાં તે ઊર્જામાં ફેરફારો થાય છે. જે ફેરફાર જે-તે દ્રવ્યના રસાયણિક બંધની આગવી લાક્ષણિકતા હોય છે. જો યોગ્ય ઉપકરણ વડે આ લાક્ષણિકતા X-Ray આવૃત્તિ કે ઈલેક્ટ્રોનની ઊર્જા માપવામાં આવે તો, તેના ઉપરથી જે-તે સેમ્પલનું બંધારણ કે રસાયણિક બંધનો પ્રકાર જાણી શકાય છે. X-Ray Emission કે X-Ray Absorption Spectroscopyનો ઉપયોગ રસાયણ વિજ્ઞાન અને મટિરિયલ્સ સાયન્સમાં વ્યાપક રીતે થાય છે. જેમ કે Energy Dispersive- X-Ray fluorescence Spectrometryનો ફોરેન્સિક સાયન્સમાં ઉપયોગ પારદર્શક ધન કે પ્રવાહીઓના અભ્યાસ માટે તેમજ કાર્બિનિક રસાયણોના અભ્યાસમાં થાય છે. તેમજ Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectrometryનો ફોરેન્સિક સાયન્સમાં ઉપયોગ દ્રવ્યના દ્રવ્યકણોનો પ્રકાર જાણવા તેમજ દ્રવ્યના બંધારણનો અભ્યાસ કરવા માટે કરવામાં આવે છે.

Spark / Arc Emission Spectroscopy: આ રીત ધન પદાર્થોમાં ઘાતુ તત્વો/પદાર્થોની હાજરી તપાસવા માટે વપરાય છે. જેમાં આપેલા સેમ્પલભાંથી ઊંચા વિધુત દબાણો સ્પાર્ક પસાર કરતાં સેમ્પલનું તાપમાન વધે છે. જેને લીધે તેના અણુઓ ઉતેજિત થાય છે, અને જુદી-જુદી તરંગલંબાઈ ઘરાવતા વિકિરણ/પ્રકાશનું ઉત્સર્જન કરે છે. જે પ્રકાશનું સામાન્ય Spectroscopic Methods વડે પૃથક્કરણ કરવામાં આવે છે. તેના પરથી આપેલા સેમ્પલભાં કયા ઘાતુ તત્વ/પદાર્થોની હાજરી છે તે જાણી શકાય છે. આ જ રીતે અધાતુ તત્વોના પરીક્ષણ માટે સેમ્પલને ગ્રેફાઈટ વડે અર્થ/ગ્રાઉન્ડ કરવામાં આવે છે. ત્યારબાદ ઉપરોક્ત રીત વડે અધાતુ તત્વ/પદાર્થોની હાજરી અંગે તપાસ કરી શકાય છે. આધુનિક સમયમાં નિયંત્રિત ડિસ્ચાર્જ (Controlled Discharge) વડે સેમ્પલભાં ઘાતુ કે અધાતુ તત્વ/પદાર્થનું પ્રમાણ પણ જાણી શકાય છે.

UV Spectroscopy: લગભગ બધાંજ પરમાણુઓ UV-વિસ્તારમાં શોષણ કરે છે. કારણ કે UV-પ્રકાશના ફોટોનની ઊર્જા પરમાણુઓના ઈલેક્ટ્રોનને ઉતેજિત કરવા માટે પૂરતી હોય છે. જો આવૃત્તિ ખુબજ ઊંચી હોય તો Photo-ionizationની પ્રક્રિયા સરળતાથી થાય છે. ઉત્સર્જિત થતાં ફોટોનની આવૃત્તિ UV-વિભાગની હોય છે. UV-Spectroscopyનો ઉપયોગ મેડિકલ સાયન્સમાં ઘણી રીતે થાય

છે. જેમ કે શરીરમાં પ્રોટીન અને DNAની સાંક્રતા જાણવા તેમજ કોઈ ક્રાવણમાં પ્રોટીન-DNAનો ગુણોત્તર જાણવા માટે થાય છે. તેમજ કોઈ Organic / Inorganic Compoundની ઓળખ માટે પણ થાય છે. જેમ કે UV-Spectro-Photometerનો ફોરેન્ઝિક સાચન્સમાં ઉપયોગ જુદા-જુદા પ્રકારના કાર્બનિક-અકાર્બનિક સંયોજનો/પ્રોડક્ટ્સ, રાસાયણિક ઝેર અને રંગકોના અભ્યાસમાં થાય છે.

Infrared Spectroscopy: આ રીતમાં આપેલા સેમ્પલ ઉપર નિશ્ચિત તરંગલંબાઈ ધરાવતા IR-વિકિરણો આપાત કરવામાં આવે છે. આપેલા સેમ્પલના અણુઓમાં રાસાયણિક બંધ છારા આ તરંગોનું જુદા-જુદા પ્રમાણમાં શોષણ થાય છે. આ શોષણ વર્ણાપટના અભ્યાસ ઉપરથી સેમ્પલનું પરીક્ષણ (Analysis) કરવામાં આવે છે. આ રીત છારા જુદી-જુદી આવૃત્તિએ કંપનો/દોલનો કરતાં પરમાણવીક બંધોના દોલનો માપી તેનો અભ્યાસ કરવામાં આવે છે. ખાસ કરીને Organic Compoundમાં શોષણ વર્ણાપટ ઉપરથી તેમના બંધોના પ્રકાર જાણી શકાય છે. જેના ઉપરથી જે-તે સેમ્પલની ઓળખ થાય છે. આ Spectroscopyનો ઉપયોગ પોલીમર્સ, રંગકો, પ્લાસ્ટિક્સ અને ફિલર્સ જેવા વિવિધ પદાર્થોના અભ્યાસ માટે થાય છે.

Near-Infrared Spectroscopy: વિધૂત-ચુંબકીય વર્ણાપટના IR-Region ત્રણ પેટા-વિભાગોમાં વહેંચાયેલો છે. જે વિભાગોના નામ અનુક્રમે Near Infrared, Mid Infrared અને Far Infrared છે. જે પૈકી Near Infrared (NIR) Region એ લાલ રંગ બાદ તરત જ આવતો વિભાગ છે, જેની પ્રાયોગિક ઉપયોગિતા ઘણી બધી છે. કારણ કે કોઈ સેમ્પલમાં તેની ઊડે સુધી જવાની ક્ષમતા Mid Infrared કરતાં વધારે છે. તેથી NIR-Spectrometerના એક સ્કેન (Scan) દરમ્યાન મોટા પ્રમાણમાં સેમ્પલનું Analysis કરી શકાય છે. આ Spectroscopyનો ઉપયોગ અનાજનું પૃથક્કરણ કરવા માટે, ફાર્માસ્યુટિકલ ક્ષેત્રે દવાઓની બનાવટમાં અને તેના વડે થતા દીલાજમાં, બાયોટેકનોલોજી ક્ષેત્રે, જીનોમિક્સના પૃથક્કરણમાં, પ્રોટીયોમિક્સ પૃથક્કરણમાં, દ્રવ્યના બંધારણના અભ્યાસ માટે, ટેક્સાટાઇલ ઇન્ડસ્ટ્રીઝમાં, ખાદ્ય પદાર્થોની ચકાસણી કરવા માટે, પ્લાસ્ટિક-ટેક્સાટાઇલ જેવા પદાર્થોની બનાવટમાં, જંતુઓની હાજરી તપાસવા માટે, સંક્ષણ ક્ષેત્રે, ગુણ્ણાઓ સાથે સંકળાયેલ જુદા-જુદા પ્રકારના સેમ્પલસના પરીક્ષણમાં વગેરે માટે કરી શકાય છે.

Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy: આ રીતમાં Fourier Transform Spectrometer એટલે કે ચલિત (Moving) અરીસાઓ ધરાવતા Michelson Interferometerની મદદ વડે સુસંબંધ વિકિરણોના ઉદગમાંથી કોઈ દ્રવ્ય/સેમ્પલ ઉપર Infrared વિકિરણ આપાત કરવામાં આવે છે. ઈન્ટરફેરોમેટરના બંને અરીસાઓ છારા થતાં ગુણક પરાવર્તનોને લીધે ઉદ્ભબતા પથતિફાવત ઉપરથી Fourier Transformation નો ઉપયોગ કરીને એક વર્ણાપ મળે છે. જે વર્ણાપ ઉપરથી સેમ્પલની ઓળખ/બંધારણ અને તેના ગુણધર્મો જાણી શકાય છે. માનવ શરીરમાંથી પસાર થતાં IR-કિરણો છારા રૂધિરમાના હીમોગ્લોબિનની સાંક્રતામાં ફેરફાર થાય છે, જેના છારા રૂધિરમાં હીમોગ્લોબિનનું પ્રમાણ જાણી શકાય છે. તેમજ ખાદ્ય-પદાર્થોની ચકાસણીમાં, ફાર્માસ્યુટિકલસની બનાવટ અને તેના ઉત્પાદનમાં, વિસ્ફોટકો (Explosives)નો પ્રકાર નક્કી કરવા માટે, Narcotics Drugsનો પ્રકાર જાણવા માટે તેમજ ખગોળીય અભ્યાસોમાં આ રીતનો ઉપયોગ થાય છે.

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy: આ રીતમાં કોઈ દ્રવ્યના પરમાણુના ન્યુક્લિયસની લાક્ષણિક (Characteristics) અને કવોન્ટમ-ચાંપ્રિકીય (Quantum Mechanical) ચુંબકીય લાક્ષણિકતા વચ્ચે થતાં ભૌતિક અનુનાદ (Physical Resonance)નો અભ્યાસ, લાગુ પાડેલા બાબુ ચુંબકીય ક્ષેત્રની હાજરીમાં કરવામાં આવે છે. ઘણા વૈજ્ઞાનિક સંશોધનો જેમ કે આદ્યિક ભૌતિકશાસ્ત્ર સ્ફિટિક અને અસ્ફિટિકમય (Crystalline & Non-Crystalline) પદાર્થોના અભ્યાસમાં NMR ઘટનાનો ઉપયોગ થાય છે. મેડિકલ સાચન્સમાં Magnetic Resonance Imaging (MRI) ખૂબ જ પ્રચલિત છે.

વર્ણાપવિજ્ઞાન એ એક એવી શાખા છે કે, જેનો વિજ્ઞાનના પ્રત્યેક ક્ષેત્રમાં દ્રવ્યની પરખ કરવા માટે તેમજ તેમના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મો જાણવા માટે થાય છે. તેમજ અવકાશ વિજ્ઞાન ક્ષેત્રે પણ તેનો ઉપયોગ ઘણો વધ્યવા લાગ્યો છે. ફોરેન્ઝિક સાચન્સમાં મોટા ભાગના રાસાયણિક પૃથક્કરણ માટે Spectrometers / Spectroscopic Techniquesનો ઉપયોગ થાય છે.

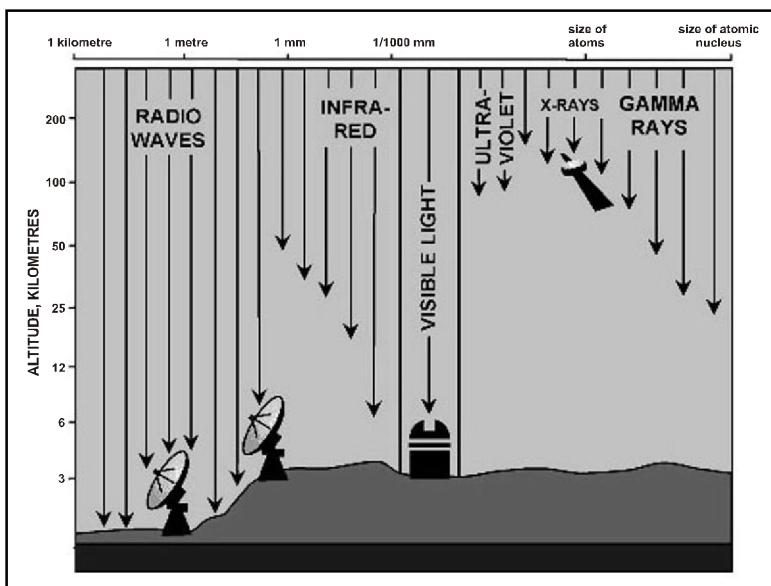
નવી ટેકનોલોજીના ઉપયોગથી કેટલાક ઉપકરણોની કિંમત અને કદ પણ ઘણી ઘટી ગયેલ છે. તેમજ પૃથક્કરણ માટે નમૂનાનું પ્રમાણ પણ, મોટા ઉપકરણો માટે ઘણું વધુ જોઈતું હતું, જે હવે ppm (Parts Per Million) અને તેનાથી પણ ઓછું થઈ ગયું છે. આજના સમયે મોટા ભાગના પૃથક્કરણ કોઈ એક જ પ્રકારના Spectrometer છારા થઈ શકે તે દિશામાં ઘણા સંશોધનો ચાલી રહ્યા છે.

ખગોળને નીરખવાની ડિવ્યદષ્ટિ-રેડિયોટેલિસ્કોપ

અભય વિ. પડસાહા
પી.ડી. પટેલ ઇન્જિનીયરિંગ એન્ડ માનેજમેન્ટ સાયન્સીસ
ચારુસેટ, ચાંગા

એમ.એસ.સી.ના વિદ્યાર્થીઓ લખેલ આ લેખમાં રસ્ત્રપદ વૈજ્ઞાનિક માહિતી પીરસેલ છે.

આઈ-અનાઈકાળથી માનવી આકાશના સૂર્ય, ચન્દ્ર, ગ્રહો, તારાઓને સાનંદાશ્ર્ય નીરખતો આવ્યો છે. આપણા સદ્ગ્રાહીને પૃથ્વીનું વાતાવરણ દ્રશ્ય પ્રકાશ માટે સારું એવું પારદર્શક છે. સમગ્ર વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટમાં દ્રશ્યપ્રકાશ તો એક સાપું નાનો વિભાગ માત્ર છે, જ્યારે અદ્રશ્ય પ્રકાશ કે વિકિરણ તો તરંગલંબાઈ (λ) અથવા આવૃત્તિ (ν)ની અતિ વિશાળ અવધિ (range)માં ફેલાયેલ છે. સૂર્ય તેમજ અન્ય અવકાશી પદાર્થો વિવિધ " λ " (અથવા" ν ") ને અનુરૂપ વિકિરણનું ઉત્સર્જિત કરે છે. તે વિકિરણ ઓછા-વધતા પ્રમાણમાં આપણા વાતાવરણમાં શોષાઈને આપણા સુધી પહોંચે છે. આ અંગેની વિશેષ માહિતી આફ્રતિ-1માં આપવામાં આવી છે. તેના પરથી પૃથ્વીની સપાટીથી જુદી-જુદી ઊંચાઈએ ક્યારેના વિકિરણનું કેટલા પ્રમાણમાં શોષણ થાય છે, તેનો ખ્યાલ આવે છે. સ્પષ્ટ છે કે દ્રશ્ય પ્રકાશની માફક રેડિયો-તરંગો પણ વાતાવરણમાં થઈને ઘરતીની સપાટી સુધી પહોંચે શકે છે, જે રેડિયોટેલિસ્કોપ દ્વારા ઝીતી શકાય છે.



આફ્રતિ-1 ઘરતીની સપાટી સુધી પહોંચતા વિવિધ તરંગલંબાઈનાં કિરણો

રેડિયો ટેલિસ્કોપ એ ખગોળીય સાધન છે. તારાઓ, આકાશગંગા, કવેસાર, સુપરનોવા અને અન્ય ખગોળીય પદાર્થો જે વિવિધ વિકિરણનું ઉત્સર્જિત કરે છે અને જે આપણી આંખો જોઈ શકતી નથી, તેમાં રેડિયો-તરંગોનો પણ સમાવેશ થાય છે. રેડિયો ટેલિસ્કોપમાં બાધ્યાવકાશમાંથી આવતાં રેડિયો-તરંગોને પૃથ્વી પર ઝીતી શકાય તેવી રૂચના કરવામાં આવે છે. આ તરંગોની તરંગલંબાઈ આશરે 1 મિલિભીટર થી 100 કિલોભીટર જેટલી મોટી હોય છે. રેડિયો ટેલિસ્કોપ એ અતિ દૂરના અવકાશીય પિંડો દ્વારા ઉત્સર્જિત થતાં વિકિરણને ઝીતીને તેના ઉદ્દેશ્યસોત વિષેની માહિતી આપી એ સોતનું ચિત્ર પણ બનાવી આપે છે.

રેડિયો ટેલિસ્કોપ મુખ્યત્વે ત્રણ ભાગોનું બનેલું હોય છે. (1) રેડિયો એન્ટેના (રીસીવર) (2) રેકોર્ડર (3) રેડિયો પરાવર્તક.

રેડિયો ખગોળશાસ્ત્રના જનક કાર્લ જાન્સ્કી હતા. તેઓ વિશ્વવિભ્યાત ટેલીફોન કંપની બેલ લેબોરેટરીમાં, રેડિયો સેટ્ટશાઓના વ્યવહારમાં જે ખલેલ આવતી હતી, તેના પર કામ કરતા હતા. જાન્સ્કીનું કામ તેનું કારણ પકડી પાડવાનું હતું. 1930માં કાર્લ જાન્સ્કીએ

સૌપ્રથમ વખત અવકાશમાંથી આવતા રેડિયો સંક્રિતો પકડ્યા હતા. તેણે રેડિયો તરંગો ઝીલી શકે તેવું 100 ફૂટ લાંબુ અને 12 ફૂટ પહોળું લગભગ 30 મીટરનું એન્ટેના બનાવ્યું. અને પ્રયોગો દ્વારા સાબિત કર્યું કે આ ખલેલ બાહ્યાવકાશમાં દુરથી આવતાં મોજાં દ્વારા થાય છે. હવે ખગોળશાસ્ત્રીઓ અવકાશમાંથી ઘણા મોટા પિંડોમાંથી આવતા રેડિયો સંક્રિતોને પકડી બ્રહ્માંડનું સંશોધન કરે છે.

બ્રહ્માંડમાં રેડિયો-તરંગોના ઉત્સર્જનની મૂળભૂત પ્રક્રિયા શી હશે ? આ સવાલનો જવાબ શોધવા માટે થોડું ભૌતિકવિજ્ઞાન સમજીએ. બ્રહ્માંડમાં સૌથી પ્રચુર માત્રામાં અસ્તિત્વ ધરાવતું તત્ત્વ છે હાઈડ્રોજન. હાઈડ્રોજન પરમાણુના પ્રોટોન (નાભિ) અને ઇલેક્ટ્રોનના સ્પિનના સંદર્ભમાં બે કોન્ટ્રાઇટ અવસ્થાઓ શક્ય છે. (વ) બન્નેના સ્પિન પ્રતિ સમાંતર (anti-parallel) હોય, અથવા (બ) બન્નેના સ્પિન સમાંતર (parallel) હોય. આ બે અવસ્થાઓ વચ્ચે અલ્પ પ્રમાણમાં ઉજ્જ તફાવત હોય છે. તેથી જ્યારે ઉપલી અવસ્થામાંથી નીચલી અવસ્થામાં સંક્રમણ (transition) થાય ત્યારે પ્લાંકના સમીકરણ $E=h\nu$ મુજબ "ν" આવૃત્તિનું રેડિયો વિકિરણ ઉત્સર્જય છે, જેને અનુઝ્યપ તરંગલંબાઈ "λ" લગભગ 21 સેમી. જેટલી હોય છે. ખગોળશાસ્ત્રમાં આ રેડિયો રેખા 21 cm line of hydrogen તરીકે પ્રસિદ્ધ છે, અને તે માહિતીનો ખજાનો પૂરો પાડે છે.

જુદીજુદી દિશાનાં અવકાશીય પિંડો દ્વારા છોડાતા વિજચુંબકીય તરંગો પૃથ્વી તરફ ઉત્તરી આવે છે, પરંતુ તેમાંથી દ્રશ્ય પ્રકાશ અને રેડિયો મોજાઓ વાતાવરણને બેદીને પૃથ્વી સુધી આવનારા કિરણોમાં મુખ્ય હોય છે. બ્રહ્માંડના દુરના અવકાશીય પદાર્થોને ઓળખવા માટે ચોગ્ય ટેલીસ્કોપ જરૂરી છે. રેડિયો ટેલીસ્કોપ એ પ્રકાશીય ટેલીસ્કોપ કરતાં અમુક રીતે વધુ સારી જોઈ શકે છે.

આપણી સાપેક્ષ વિવિધ દિશાના અવકાશીય પિંડોનો અભ્યાસ કરવા તેની સામે રેડિયો ટેલીસ્કોપની મહાકાચ ડીશ સ્થિર કરીને તેમાંથી આવતા રેડિયો મોજાંઓને ઝીલવામાં આવે છે. આ મોજા સામાન્ય રીતે અતિ મંદ હોવાથી તેને એકત્રિત કરી ડીશ વચ્ચે આવેલ ફોકલ પોઈન્ટ પર કેન્દ્રિત કરવામાં આવે છે. એકઠાં કરેલાં આ મોજાંઓને રીસીવર સુધી લઈ જવામાં આવે છે. જ્યાં રીસીવર તેને ગ્રાફ સ્વરૂપે રજૂ કરે છે. આ ગ્રાફ કમ્પ્યુટર પૃથ્વકરણને આધારે જે તે અવકાશી પિંડોનું આનેબુન્દ ચિત્ર તૈયાર કરી આપે છે. આ પિંડના કદ, બંધારણા, અંતર, આયુષ્ય, સ્વરૂપ, ઉત્સર્જત થઈ રહેલી ઊર્જા અને તેના પ્રકાર વગેરેની ચોક્કસ માહિતી અધિતન ઇલેક્ટ્રોનિક ઉપકરણો તૈયાર કરી આપે છે.

વધારે સુંદર અને અર્થપૂર્ણ માહિતી મેળવવા માટે કતાર (array)ની ટેકનીકનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. કતારબંધ વ્યવસ્થામાં ઘણાં બધાં રેડિયો ટેલીસ્કોપ સંકળાયેલાં હોય છે, તે દ્વારા શક્તિશાળી રેડિયો ટેલીસ્કોપ બનાવી શકાય છે. એક સ્થળની કતારને પણ વિશ્વમાં બીજાં સાથે જોડી શકાય છે, અને અંતિમ વિગતો મેળવી શકાય છે. એક કરતાં વધારે રેડિયો ટેલીસ્કોપ આ રીતે વાપરવાની પ્રક્રિયાને રેડિયો-ઇન્ટરફેરેન્સેટ્રિથી ઓળખાય છે. આ પ્રક્રિયાને વિકસાવવા માટે ઈંગ્લેન્ડના કેન્સિયલ યુનિવર્સિટીના ભૌતિકશાસ્ત્રી માર્ટીન રીલેને 1974નું નોબેલ પ્રાઇઝ આપવામાં આવ્યું હતું. રેડિયો ટેલીસ્કોપ દ્વારા બાહ્યાવકાશના જીવોની ખોજ કરવા માટે વિજ્ઞાનીઓ જહેમત ઉઠાવી રહ્યા છે.

રેડિયો-તરંગ એ લાંબી તરંગલંબાઈ, તથા ઓછી આવૃત્તિ ધરાવે છે. તેનો અર્થ છે કે રેડિયો તરંગોના ફોટોનની ઊર્જા ખૂલ ઓછી હોય છે. તેથી રેડિયોટેલીસ્કોપની ડીશ (તકાતી) શક્ય તેટલી વધારે વ્યાસની હોવી જોઈએ. અરેસીબો એ પ્ર્યુઅરટો રીકો ખાતે આવેલું વિશ્વનું સૌથી વિશ્વાળ રેડિયો ટેલીસ્કોપ છે. જેના ડીશનો વ્યાસ 1000 ફૂટ જેટલો છે. અમેરિકાના ન્યૂ મેક્સિકો રાજ્યમાં 25 મીટર વ્યાસ ધરાવતી 27 ડીશો વાય આકારમાં મુકવામાં આવી હતી. આ બધાં રેડિયો ટેલીસ્કોપને ગોછવવા ખાસ પ્રકારની વ્યવસ્થા કરવામાં આવે છે અને રેડિયો સંકુલ બનાવવામાં આવે છે. આમ એકસાથે અનેક રેડિયો ટેલીસ્કોપ કાર્યરત કરીને તે બધાં દ્વારા ઝીલાયેલાં મોજાંઓનું એકત્રીકરણ કરી તે પરથી અવકાશીય પિંડોનું ચિત્ર તૈયાર કરવું તે સૌથી મોટી વાત ગણાય.

રેડિયો ટેલીસ્કોપ એ બાહ્યાવકાશના જીવોની ખોજ કરવા માટે ઉપરાંત જુદા-જુદા વાયુ (અણુ)ઓ શોધવા માટે અવકાશના એવા વિસ્તારોની માહિતી મેળવી આપે છે, જે કોસ્મિક ધૂળથી ભરેલ હોય છે. આમ રેડિયો ખગોળશાસ્ત્ર એ સંશોધનની એક રોમાંચક શાખા છે.

Lengthening Pendulum: Theory and Experiment

Dr. Chirag A. Jhala
The Galaxy Education System
(An IBO affiliated school)
Rajkot

Is a simple-pendulum, introduced to students at std.11, simple enough in nature? Let us examine.

When displaced from its equilibrium position, the restoring force $-mg \sin \theta$ acting on the pendulum bob of mass m will bring it back to the center. Here θ is the angle made by the pendulum string with vertical axis. With L as the (fixed) length of the pendulum, one obtains the well-known second order differential equation for simple harmonic motion in terms of $\theta = \theta(t)$. The simple pendulum becomes a complicated affair if one considers a lengthening pendulum. We assume that the length of the oscillating pendulum is increased very slowly, and analyze the problem theoretically as well experimentally.

A simple yet versatile lengthening pendulum can turn a boring high- school physics lab into an active space. Let us first highlight the theory, by supposing that the string length of initial value L_0 is increased slowly according to $L(t) = L_0 + v.t$, with v as its speed. Now, since the y coordinate is changing, the angle θ depends on L together with time $\theta = \theta(L;t)$. The resulting differential equation is not purely a second order differential equation of SHM. Rather it becomes the Bessel differential equation in terms of variable 'L'. From the solution it can be deduced that the periodic time of this system is given by,

$$T(t) = 2\pi \sqrt{(L(t)/g)}$$

To verify this, we used a high-school level setup. This experiment introduces to students the concepts and kinematics of a system evolving with time. While the analysis of experimental data, for different rates of descent of the pendulum bob, explains phenomena such as phase-space and beats, theoretical analysis of the system introduces students to second order differential equations and their solutions. A small discrepancy between the theoretical and experimental values of $T(t)$ can be ascribed to various factors such as friction and air drag.

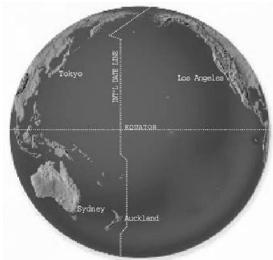
This is a brief report. For details please see,

- [1] M. McMillian, D. Blasing and H. Whitney, Am. J. Phys. 81 682 (2013)
- [2] Lego Mindstorm website

☺ એવી પોતાની..... ☺

- **At the cross roads of space and time....**

Passenger steamer SS Warrimoo was quietly sailing through the waters of the mid-Pacific on its way from Vancouver to Australia. The navigator had just finished working out a star fix and brought the master, Captain John Phillips, the result. The Warrimoo's position was latitude 0 degrees x 31 minutes north and longitude 179 degrees x 30 minutes west.



The date was 30 December 1899. "Know what this means?" First Mate Payton broke in, "we're only a few miles from the intersection of the Equator and the International Date Line!" Captain Phillips was prankish enough to take full advantage of the rare opportunity for achieving the navigational freak of a lifetime. He called his navigators to the bridge to check and double check the ship's position. He changed course slightly so as to bear directly on his mark. Then he adjusted the engine speed. The calm weather and clear night worked in his favour, as the precious moments passed by. At midnight the ship Warrimoo lay on the Equator at exactly the point where it crossed the International Date Line !

The consequences of this bizarre position were immense. The forward part of the ship was in the Southern Hemisphere and the middle of summer. The stern was in the Northern Hemisphere and in the middle of winter. The date in the aft part of the ship was 31 December 1899. Forward it was January 1st 1900.

This ship was therefore not only in two different days, two different months, two different seasons and two different years but in two different centuries - all at the same time.

- **Did you look back?!**

Normally one would not like to look back; One must be forward looking for ever. Here is a very interesting story of how 'looking back' resulted into one of the most profound discoveries of Physics and Science.

This is the story of E. Rutherford who was investigating on distribution of electric charges in an atom - Thomson's atom at that time. He and his colleagues Geiger and Marsden performed the famous experiments on scattering of α - particles from thin gold foil. As the preliminary results were brought to him by the two colleagues, Rutherford thought for a while and said in a flash, "well, did you also look back...? Pl try to see the α - particles, if any, reflected back from the metal surface." They tried to observe the back scattering ... and the rest is the history of the discovery of the atomic nucleus in 1911. Rutherford was surprised to see the small but significant back scattering, and he remarked, " This is almost as incredible as if you fired a 15-inch shell at a tissue paper and it came back and hit you....!!?".



- **Einstein on taxes....!**

'The hardest thing in the world to understand is the income tax.'

- Albert Einstein

However, let us not miss any chance to save income tax.! By donating to 'IAPT PRAGAAMI TARANG GUJARATI PUBLICATION CORPUS FUND' you can get the benefit of 80G. The Corpus Fund Account has been established at the IAPT Kanpur registered office, and contributions have been coming for the past one year or so.