BILINGUAL TEXTBOOK

Sem-2

Second Year B.Sc.

PHYSICS

Wave Optics

ANDHRA PRADESH STATE COUNCIL OF HIGHER EDUCATION

(A Statutory Body of the Government of A.P.)

Sem-2

BILINGUAL
TEXTBOOK

First Year B.Sc.

PHYSICS

WAVE OPTICS

AUTHORS

Dr. D. Sanjeev Kumar
Lecturer in Physics
Government College (Autonomous)
Rajahmundry, AP, India

Ms. B. Durga Lakshmi
Lecturer in Physics
SCIM Government Degree College
Tanuku, AP, India

Dr. M. Padmavathi
Lecturer in Physics
SKR & SKR GDC for Women (A)
Kadapa, AP, India

EDITOR

Dr. P. Anantha Lakshmi
Professor of Physics
University of Hyderabad,
Hyderabad, Telangana, India

ANDHRA PRADESH
STATE COUNCIL OF HIGHER EDUCATION
(A Statutory Body of the Government of A.P)

B.Sc.(First Year – Semester – II) : Physics (Wave Optics); Authors : Dr. D. Sanjeev Kumar, Ms. B. Durga Lakshmi, Dr. M. Padmavathi; Editor : Dr. P. Anantha Lakshmi
First Edition: 2023; No. of pages: vi+314

All Copyrights @ APSCHE
First Edition: 2023

Published by APSCHE, Atmakur (V), Mangalagiri (M), Guntur, Andhra Pradesh, Pin - 522 503

All Rights whatsoever in this book are strictly reserved and no portion of it may be reproduced by any process for any purpose without the written permission of the copyright owners.

APSCHE TEXTBOOK COORDINATING COMMITTEE

Prof. K. Rama Mohana Rao, Ph.D
Vice-Chairman

Dr. B.S. Selina, M.A., Ph.D
Academic Officer

Sri G. Srirangam Mathew, M.Sc., (Ph.D)
Academic Officer

Dr. P. Anil Kumar, M.Sc., Ph.D
Academic Officer

Foreword

The Andhra Pradesh State Council of Higher Education, in line with the directions of the Hon'ble Chief Minister of Andhra Pradesh, introduced English Medium in all Degree programmes from this academic year 2021-22. As part of empowering the students joining Degree programmes from vernacular medium, the AP State Council of Higher Education is bringing out ***podcasts, video casts*** and notably the ***bilingual text books***. These bilingual books are written in English, with the gist of the content in Telugu to enable the students to comprehend the content in their mother tongue. The bilingual text book is envisioned on the core concept of Outcome Based Education, highlighting the learning outcomes for every chapter. These are better called as bilingual resources rather than textbooks, as the APSCHE has developed a template for the bilingual textbooks designing them with concepts and frameworks going beyond the usual reading material.

Furthering the detailed description of the topics, as per the common syllabus of the Redesigned Curricular Framework for Choice Based Credit System, the bilingual text book contains **Glossary,** where certain important terms which the student might be unfamiliar with are identified and explained in one or two sentences, which is not a mere dictionary meaning. Links to online videos or audios which will be useful for further reading and understanding of the topics are given under the **Interactive links.** To foster further reading, information on online resources, articles or another text book pertaining to the content are provided. To make the text book more of a resourceful book, **Curricular Activities,** wherein suggested activities that could be taken up in realization of the outcomes are provided for the benefit of students. To help the students to assess understanding of the content, **Self Assessment** instruments are provided. For **Advanced Learners,** caters to the needs of advanced learners providing them with additional material about the topics. Finally, for every chapter **References** are provided.

I sincerely appreciate the Authors and the Editors for taking pains in bringing out this bilingual text book in a record time, replete with knowledge which fosters the academic progression of students. I earnestly thank my Academic Officers, Dr. B. S. Selina, Sri. Srirangam Mathew, Dr. P. Anil Kumar for their coordinating activities and Prof. K. Rama Mohana Rao, the Vice-Chairman of APSCHE under whose guidance the publication is brought out.

K. Hemachandra Reddy
Chairman, APSCHE

Preface

Bilingual undergraduate textbook preparation is a path breaking initiative by the APSCHE in the bachelor degree education. It is our privilege to be a part of this prestigious project.

The textbook has been prepared keeping English as the primary language. Telugu translations have been made without translating the technical words as much as possible, which is the entire essence of this project. Hence for all purposes English version may be considered as standard text.

The book provides enough insights for both faculty and students to implement Bloom's taxonomy for undergraduate physics in a smooth manner at teaching and learning levels. Implementation of it at evaluation level may need further improvements.

Every chapter is provided with outcomes specific to programs and also with wide range of applications which may bridge the gap between industry and academia to some extent.

We hope that the innovative attempt made here may reach the expectations and serve the needs of every stake holder associated with the project.

\- - Authors and Editor

Contents

LEARNING RESOURCES ..... **I**

OPTICS **1**

INTRODUCTION TO OPTICS 2

UNIT-I **21**

1. INTERFERENCE OF WAVES **21**

1.1 INTRODUCTION 27
1.2 CONDITIONS FOR INTERFERENCE OF LIGHT 29
1.3 TYPES OF INTERFERENCE 31
1.4 PHASE CHANGE ON REFLECTION - STOKES' TREATMENT 35
1.5 LLOYD'S MIRROR 36
1.6 INTERFERENCE IN THIN FILMS 37
1.7 COLORS IN THIN FILMS 45
1.8 NEWTON'S RINGS 47
1.9 MICHELSON INTERFEROMETER 57
SOLVED PROBLEMS AND EXERCISES 61
MCQS 67
GRADE YOUR UNDERSTANDING 70
GLOSSARY 71

UNIT-II **73**

2. DIFFRACTION **73**

2.1 INTRODUCTION 79
2.2 TYPES OF DIFFRACTION 89
2.3 FRAUNHOFFER DIFFRACTION AT A SINGLE SLIT 91
2.4 DIFFRACTION GRATING 103
2.5 DETERMINATION OF WAVELENGTH OF LIGHT USING DIFFRACTION GRATING 107
2.6 RESOLVING POWER OF GRATING 111
2.7 FRESNEL'S HALF PERIOD ZONES 113
2.8 ZONE PLATE 117
2.9 EXPLANATION OF RECTILINEAR PROPAGATION OF LIGHT 121
2.10 COMPARISON OF ZONE PLATE WITH CONVEX LENS 125
SOLVED PROBLEMS AND EXERCISES 126
MCQS 130
GRADE YOUR UNDERSTANDING 132
GLOSSARY 133

UNIT-III **135**

3. POLARIZATION **135**

3.1 Introduction 141
3.2 Polarization by reflection (Brewster's law) 143
3.3 Polarization by refraction/selective absorption (Malus law) 147
3.4 Double refraction/Birefringence 148
3.5 Nicol prism 151
3.6 Nicol prism as polarizer and analyser 153
3.7 Quarter wave plate 153
3.8 Half wave Plate 155
3.9 Production and detection of Polarized light 157
3.10 Optical activity 160
3.11 Laurent's half shade Polarimeter 160
3.12 Basic principle of LCD 165
Solved Problems and Exercises 279
MCQs 172
Grade your understanding 176
Glossary 177

UNIT-IV **179**

4. ABERRATIONS AND OPTICAL FIBERS **179**

4.1 Introduction 185
4.2 Monochromatic aberrations 204
4.3 Spherical aberration 205
4.4 Minimization of Spherical aberration 207
4.5 Coma 212
4.6 Astigmatism 213
4.7 Field curvature 215
4.8 Distortion 217
4.9 Chromatic aberration 219
4.10 Achromatism 225
4.11 Introduction to Optical fibers 229
4.12 Types of Optical fibers 231
4.13 Rays and Modes in optical fibers 236
4.14 Fiber Optic communication system 239
4.15 Advantages of Fiber optic communication 241
Solved problems and Exercises 242
MCQs 249
Grade your understanding 254
Glossary 255

UNIT-V **259**

5. LASERS AND HOLOGRAPHY **259**

5.1 Introduction 265
5.2 Light-Matter interaction and Einstein Coefficients 273
5.3 Population Inversion 277
5.4 Laser Principle 279
5.5 Ruby Laser 284
5.6 Helium-Neon Laser 289
5.7 Applications of lasers 297
5.8 Holography Principle 299
5.9 Holography Applications 301
Solved Problems 303
MCQs 309
Grade your understanding 311
Glossary 312

LEARNING RESOURCES

అభ్యసన సాధనములు

SECTION I

అభ్యసన సాధనములు

Learning Resources

Sl No	Resource Link	QR Code
1.	**Hyper Physics:** HyperPhysics is an exploration environment for concepts in physics which employs concept maps. http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html	
2.	**Physics Hyper Textbook:** The Physics Hypertextbook is the intellectual property of Glenn Elert https://physics.info/	
3.	**Lumen learning:** Lumen Learning provides a simple, supported path for faculty members to adopt and teach effectively with open educational resources (OER) https://courses.lumenlearning.com/physics/	
4.	**Libre texts:** Optics, https://phys.libretexts.org/@go/page/931	
5.	**Libre Texts:** Wave Optics. https://phys.libretexts.org/@go/page/1467	
6.	**Internet Archive:** The Internet Archive, a 501(c)(3) non-profit, is building a digital library of Internet sites and other cultural artifacts in digital form. https://archive.org/	
7.	**National Digital Library:** National Digital Library of India (NDLI) is a virtual repository of learning resources which is not just a repository with search/browse facilities but provides a host of services for the learner community. https://ndl.iitkgp.ac.in/	

LEARNING RESOURCES

SECTION I

Video Lectures:

SN	Title and Link	QR Code
1.	Optics Prof. George Barbastathis Dr. Se Baek Oh Prof. Colin Sheppard https://ocw.mit.edu/courses/2-71-optics-spring-2009	
2.	Optics Nicholas X. Fang. https://ocw.mit.edu/courses/2-71-optics-spring-2014	
3.	IIT Delhi – Optics and Photonics Center https://opc.iitd.ac.in/learn	
4.	Optical Engineering – IIT Madras https://nptel.ac.in/courses/108106161	
5.	Applied Optics https://archive.nptel.ac.in/courses/115/107/115107131/	
6.	Fourier Optics in Python https://www.youtube.com/watch?v=QeNHF-H_ANM	
7.	Optics lecture notes and MATLAB codes https://www.youtube.com/watch?v=13hHCwc7Scc	
8.	Anveshika Andhrapradesh https://www.youtube.com/@anveshikaandhrapradesh	

Learning Resources

Simulation resources:

Sl No	Title and Link	QR Code
1.	Amrita V Lab https://vlab.amrita.edu/	
2.	JAVA Lab https://javalab.org/en/category/light_wave_en/	
3.	Wolfram Demonstrations https://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Optics	
4.	MATLAB Interactive simulation toolbox for optics https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/40093-interactive-simulation-toolbox-for-optics	
5.	Physics Classroom https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives	
6.	PhET Simulations https://phet.colorado.edu/en/simulations/filter?subjects=light-and-radiation&type=html,prototype	
7.	O-Physics https://ophysics.com/	
8.	Edumedia https://www.edumedia-sciences.com/en/node/67-optics-and-waves	
9.	J-Optics http://nsdl.oercommons.org/courses/joptics/view	
10.	Polarizer Program http://nsdl.oercommons.org/courses/polarizer-program/view	

Reference Books

1. Hugh D. Young, Roger A. Freedman - Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics-Pearson Education (2015)
2. A. N Matveev - Mechanics and theory of relativity, Mir Publishers (1988)
3. Eugene Hecht – Optics – Addison Wesley 4th Ed. (2002)
4. Ajoy Ghatak – Optics – Tata Mc Graw Hill 4th Ed. (2008)
5. Daniel Malacara, Zacarias Malacara – Handbook of Optical Design – Marcel Decker (2004)
6. Herbert Gross – Handbook of Optical Systems Vol-1 – Fundamentals of Technical Optics – Wiley VCH (2005)
7. Herbert Gross – Handbook of Optical Systems Vol-3 – Aberration Theory and Correction of Optical Systems– Wiley VCH (2005)
8. Eugene Hecht – Schaum's outline of optics – Mc Graw Hill (1974)
9. Kailash K. Sharma – Optics Principles and Applications – Elsevier (2006)
10. Elijah Kannatey-Asibu, Jr. – Principles of Laser materials processing – Wiley (2009)
11. Ajoy Ghatak and K. Tyagarajan – Optical Electronics – Cambridge University Press (1989).
12. Ajoy Ghatak and K. Tyagarajan – An Introduction to Fiber Optics – Cambridge University Press (1998).
13. Marc Eichhorn – Laser Physics – Springer (2014)
14. William T. Silfvast – Laser Fundamentals – Cambridge University Press 2nd Ed. (2004).
15. John P. Powers – An introduction to Optical Fibers – Irwin (1997)
16. Jeff Hecht - City of Light:The Story of Fiber Optics – Oxford University Press (1999)
17. Gerd Keiser – Optical Fiber Communication – Tata Mc Graw Hill (2013)
18. John M. Senior – Optical Fiber Communications – Pearson (2010)
19. Brijlal, Subrahmanyam, Avadhanulu – A Textbook of Optics – S. Chand (2006).
20. M. N. Avadhanulu – An Introduction to Lasers Theory and Applications – S. Chand (2001)

Reference Books

21. Ajoy Ghatak and K. Tyagarajan – Lasers Fundamentals and Applications – Springer (2010)
22. Grant R. Fowles – Introduction to Modern Optics – Dover Publications 2nd Ed. (1968)
23. Pedrotti – Inrtroduction to Optics _ Cambridge University Press 3rd Ed. (2017)
24. R. Murugeshan – Optica and Spectroscopy – S Chand and Co. (2006)
25. Jeff Hecht – Understanding Fiber Optics – Laser Light Press (2015)
26. Devraj Singh – Fundamentals of Optics – PHI EEE (2015)

INTRODUCTION TO OPTICS

దృశాశాస్త్రపు

పరిచయము

CHAPTER 0

దృశాశాస్త్రపు పరిచయము

పరిచయం

కాంతి అనేది విద్యుదయస్కాంత వికిరణం, ఇది మానవ కంటికి దృష్టి జ్ఞానాన్ని కలిగిస్తుంది. విద్యుదయస్కాంత వికిరణం యొక్క ఇతర కనిపించని రూపాలలో రేడియో తరంగాలు, ఇన్ఫ్రారెడ్ కిరణాలు, అతినీలలోహిత (అల్ట్రా వయొలెట్) కిరణాలు, X-కిరణాలు మరియు గామా కిరణాలు మొదలైనవి ఉన్నాయి. పాములు, దోమలు మరియు కొన్ని ఇతర జంతువులు ఇన్ఫ్రారెడ్ కిరణాలను గ్రహించే కంటి నిర్మాణాన్ని కలిగి ఉంటాయి. కటకములు లేకుండా కంటి నిర్మాణం కలిగిన కొన్ని కీటకాలు మరియు రొయ్యలు అతినీలలోహిత కిరణాలను గ్రహించగలవు.

గెలాక్సీల నుండి సబ్‌టామిక్ (పరమాణువుకన్నా చిన్న) కణాల పరిమాణం వరకు ఉన్న వస్తువుల మధ్య కాంతి సమాచార వాహకంగా పనిచేస్తుంది.

కాంతి-పదార్థ పరస్పర చర్య పదార్థం యొక్క లక్షణాల అధ్యయనానికి అలాగే కాంతి అధ్యయనానికి ఉపయోగపడుతుంది. కాంతి పదార్థ పరస్పర చర్య సమయంలో కాంతి లక్షణాల అధ్యయనానికి సంబంధించిన భౌతిక శాస్త్ర శాఖను ఆప్టిక్స్ అని పిలుస్తారు మరియు పదార్థం యొక్క లక్షణాల అధ్యయనంతో ముడిపడిన దానిని స్పెక్ట్రోస్కోపీ అంటారు.

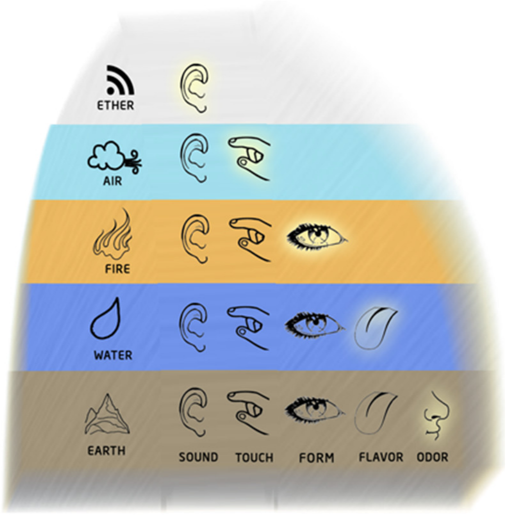


Fig: Samkhya School Tanmatras

INTRODUCTION TO OPTICS

CHAPTER 0

Introduction

Light is an electromagnetic radiation that causes the sense of vision to the human eye. Other non-visible forms of electromagnetic radiation include the radio waves, infrared rays, ultraviolet rays, X-rays and gamma rays etc. Snakes, mosquitoes and some other animals have eye structure that senses infrared rays. Some insects and shrimp that do not have eye structure with lenses can sense ultraviolet rays.

Light acts as an information carrier between objects of the size ranging from galaxies to subatomic particles.

Light-matter interaction encompassses the study of properties of matter as well as that of light. The branch of Physics that deals with the study of properties of light during light matter interaction is called optics and the discipline that deals with the study of properties of matter is called spectroscopy.

In ancient India, Sun (the light source) is considered as the visible god as it is solely responsible for the entire life on earth and its sustenance. Around 6th century BC in India, Samkhya school of philosophy proposed 5 fundamental elements of nature namely Ether, Air, Fire, Water and Earth. They cause five Tanmatras or potential experiences for human beings namely Sabda, Sparsa, Roopa, Rasa and Gandha or Sound, Touch, Vision, Taste and Smell.

During the same time Vaiseshika school proposed that every entity in nature is composed of four fundamental elements namely earth (prthivı), water (apas), fire (tejas), and air (vayu). Out of these light is assumed to be streams of fast moving Tejas.

During 1st century AD, Vishupurana depicted the sun as riding a chariot of seven horses which possibly signify the seven days of the week.

Introduction

పురాతన భారతదేశంలో, సూర్యుడు (కాంతి జనకం) కనిపించే దేవుడుగా పరిగణించబడ్డాడు, ఎందుకంటే ఇది భూమిపై ఉన్న మొత్తం జీవితానికి మరియు దాని జీవనోపాధికి పూర్తి బాధ్యత వహిస్తుంది. భారతదేశంలో క్రీస్తుపూర్వం 6వ శతాబ్దంలో, సాంఖ్య స్కూల్ ఆఫ్ ఫిలాసఫీ ఈథర్, ఎయిర్, ఫైర్, వాటర్ మరియు ఎర్త్ అనే ప్రకృతి యొక్క 5 ప్రాథమిక అంశాలను ప్రతిపాదించింది. అవి శబ్ద, స్పర్శ, రూప, రస మరియు గంధ లేదా ధ్వని, స్పర్శ, దృష్టి, రుచి మరియు వాసన అనే ఐదు తన్మాత్రలు లేదా మానవులకు సంభావ్య అనుభవాలను కలిగిస్తాయి.

అదే సమయంలో వైశేషిక పాఠశాల ప్రకృతిలోని ప్రతి అస్తిత్వం భూమి (పృథివి), నీరు (అపాస్), అగ్ని (తేజస్) మరియు గాలి (వాయు) అనే నాలుగు ప్రాథమిక అంశాలతో కూడి ఉంటుందని ప్రతిపాదించింది. వీటిలో కాంతి వేగంగా కదులుతున్న తేజస్ ప్రవాహాలుగా భావించబడుతుంది.

E - Corner

https://www.ayurvedacollege.com/blog/advanced-topics-ayurveda-tanmatras/

https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_optics

https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_light#History

https://en.wikipedia.org/wiki/Light

1వ శతాబ్దం ADలో, విష్ణుపురాణం సూర్యుడు ఏడు గుర్రాల రథాన్ని నడుపుతున్నట్లు చిత్రీకరించింది, ఇది బహుశా వారంలోని ఏడు రోజులను సూచిస్తుంది.

క్రీస్తుపూర్వం 5వ శతాబ్దంలో, ఎంపెడోకిల్స్ అనే గ్రీకు తత్వవేత్త ప్రకృతి అగ్ని, గాలి, భూమి మరియు నీరు అనే 4 మూలకాలతో కూడి ఉంటుందని ప్రతిపాదించాడు. కాంతి ఏదో కదలికలో ఉందని, అందువల్ల ప్రయాణించడానికి కొంత సమయం అవసరమని కూడా అతను వివరించాడు. తరువాత, అరిస్టాటిల్ కాంతి అనేది పదార్థం మరియు కదలికకు సంబంధించినది కాదని వాదించాడు.

ఎంపెడోక్లెస్ ప్రతిపాదించిన ఉద్గార సిద్ధాంతం ప్రకారం, ఆఫ్రొడైట్ దేవుడు మానవ కన్నును నాలుగు మూలకాలతో సృష్టించాడు మరియు దృష్టికి కారణమయ్యే కంటిలో మంటను వెలిగించాడు. రాత్రి సమయాల్లో మనం చూడలేము కాబట్టి, దృష్టికి కంటి నుండి వచ్చే కాంతి మరియు బాహ్య వస్తువుల నుండి వచ్చే కాంతి మధ్య పరస్పర చర్య అవసరమని కూడా అతను ప్రతిపాదించాడు.

అతని ప్రకారం, పిల్లులు రాత్రి సమయంలో బాగా చూడగలవు ఎందుకంటే వాటి కళ్ళలో ఎక్కువ కాంతి ఉంటుంది. కంటి నుండి వచ్చే కాంతి కూడా దృష్టికి కారణమైతే, ఒకే వస్తువును ఒకేసారి ఎక్కువ మంది

In 5th century BC, Empedocles, a greek philosopher proposed that the nature is composed of 4 elements namely fire, air, earth and water. He also described that the light is something in motion and thus requires some time to travel. Later, Aristotle argued that light is matter and not related to movement.

The emission theory proposed by Empedocles mentions that the god Aphrodite has created the human eye with the four elements and lit fire in the eye which is responsible for vision. Since we can't see during night times, he also proposed that the vision requires an interaction between the light from the eye and the light from the external source.

According to him, cats are able to see better during night times is because they have more light in their eyes. This theory has got a counter argument that if light from the eyes is also responsible for vision, then the vision of people should improve if multiple people observe the same object at a time as more light will be incident on the object. But that is not what is happening in reality.

Fig: Emission theory of vision.

Around 300BC, Euclid and Ptolemy developed that theory in the book of Optics, and improved it by saying that the square shaped objects at a distance look circular because of the shape of the eye. But still the light from the eye is responsible for vision.

They have also developed the concepts of reflection and refraction based on the emission theory of vision.

వ్యక్తులు గమనిస్తే వ్యక్తుల దృష్టి మెరుగుపడుతుందని ఈ సిద్ధాంతానికి ప్రతివాదం వచ్చింది, ఎందుకంటే వస్తువుపై ఎక్కువ కాంతి పడుతుంది. కానీ వాస్తవంలో జరుగుతున్నది అది కాదు.

300BCలో, యూక్లిడ్ మరియు టోలెమీ ఆప్టిక్స్ పుస్తకంలో ఆ సిద్ధాంతాన్ని అభివృద్ధి చేశారు మరియు కంటి ఆకారం కారణంగా దూరంలో ఉన్న చతురస్రాకారపు వస్తువులు వృత్తాకారంలో కనిపిస్తాయని చెప్పడం ద్వారా దానిని మెరుగుపరిచారు. కానీ అప్పటికి కంటి నుండి వచ్చే కాంతి దృష్టికి బాధ్యత వహిస్తుంది.

వారు దృష్టి యొక్క ఉద్గార సిద్ధాంతం ఆధారంగా పరావర్తనం మరియు వక్రీభవన భావనలను కూడా అభివృద్ధి చేశారు.

అలెగ్జాండ్రియాకు చెందిన హెరాన్ ప్రకారం మన కళ్ల నుండి వచ్చే కాంతి అనంతమైన వేగంతో ప్రయాణిస్తుంది కాబట్టి మనం కళ్ళు తెరిచినప్పుడు వెంటనే నక్షత్రాలను చూడగలుగుతున్నాము.

కానీ 1వ శతాబ్దం ADలో అల్హాజెన్ కాంతి జనకం నుండి వస్తువులపై కాంతి ప్రతిబింబించడం వల్ల దృష్టి జ్ఞానం కలుగుతుందని ప్రతిపాదించాడు. ఇది దృష్టి యొక్క ప్రవేశన సిద్ధాంతానికి తలుపులు తెరిచింది. ఈ సిద్ధాంతం ఆధునిక శాస్త్రానికి కూడా ఆమోదయోగ్యమైనది.

Fig: Alhazen's Intromission theory of light.

రెనే డెకార్టెస్ అనే ఫ్రెంచ్ గణిత శాస్త్రజ్ఞుడు 1637లో కాంతి ఒక దట్టమైన మాధ్యమంలోకి ప్రవేశించినప్పుడు దాని వేగం ధ్వని తరంగాల మాదిరిగానే పెరుగుతుందని ప్రతిపాదించాడు. కాంతి యొక్క కణ స్వభావంపై గాస్సెండి యొక్క ప్రతిపాదన ఆధారంగా, న్యూటన్ కాంతి యొక్క కార్పస్కులర్ సిద్ధాంతాన్ని ప్రతిపాదించాడు. అతని ప్రతిపాదన ప్రకారం కాంతి దట్టమైన మాధ్యమంలోకి ప్రవేశించినప్పుడు, పదార్థంతో పరస్పర చర్య కారణంగా అది మందగిస్తుంది. కాంతి కణాలు బిలియర్డ్ బాల్స్ లాగా ప్రవర్తిస్తాయని భావించారు. ఎరుపు రంగు పెద్ద బంతి పరిమాణంతో నీలంతో పోలిస్తే పెద్ద మొమెంటం మరియు తక్కువ విచలనం కలిగి ఉంటుంది. అందువలన వక్రీభవనం కార్పస్కులర్ సిద్ధాంతాన్ని ఉపయోగించి బాగా వివరించబడింది.

Heron of Alexandria stated that we are able to see stars immediately when we open eyes because the light from our eyes travels with infinite speed.

But Alhazen in 1st Century AD proposed that vision is due to the reflection of light on objects from the light source. This opened doors for intromission theory of vision. This theory is accepted by modern science as well.

Rene Descartes, a french mathematician, proposed in 1637 that when light enters a denser medium it's velocity increases just similar to sound waves. Later based on Gassendi's proposal on particle nature of light, Newton has proposed Corpuscular theory of light. According to his proposal when light enters denser medium, it slows down due to interaction with matter. The light particles were assumed to behave like billiard balls. Red being larger ball size will have larger momentum and lesser deviation compared to blue. Thus refraction is explained well using corpuscular theory.

The only problem with Newton's corpuscular theory was that it couldn't explain the simultaneous reflection and refraction. It also could not expain the diffraction patterns produced by light. Newton also proved, using prisms and the famous Newton's wheel, that the sun light consists of 7 colors.

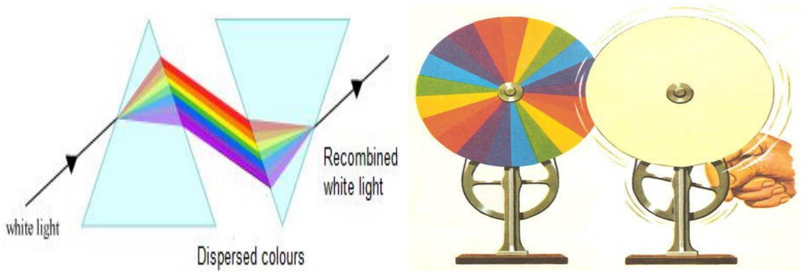


Fig: Newton's concept of white light dispersion.

Further Huygens introduced wave theory of light, followed by improvements made by Fresnel, Poisson, Kirchoff, Young and others and it was successful in explaining the phenomena like Interference, Diffraction and Polarization.

Introduction

న్యూటన్ యొక్క కార్పస్కులర్ సిద్ధాంతంలో ఉన్న ఏకైక సమస్య ఏమిటంటే అది ఏకకాల పరావర్తనం మరియు వక్రీభవనాన్ని వివరించలేకపోయింది. ఇది కాంతి ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన డైఫ్రాక్షన్ నమూనాలను కూడా వివరించలేకపోయింది. న్యూటన్ ప్రిజమ్స్ మరియు ప్రసిద్ధ న్యూటన్ చక్రం ఉపయోగించి, సూర్యకాంతి 7 రంగులను కలిగి ఉంటుందని నిరూపించాడు.

తరువాత హ్యూజెన్స్ కాంతి తరంగ సిద్ధాంతాన్ని ప్రవేశపెట్టారు, ఫ్రెస్నెల్, పాయిసన్, కిర్చోఫ్, యంగ్ మరియు ఇతరులు చేసిన మెరుగుదలలు మరియు ఇంటర్ఫెరెన్స్, డిఫ్రాక్షన్ మరియు పోలరైజేషన్ వంటి దృగ్విషయాలను వివరించడంలో ఇది విజయవంతమైంది.

తదనంతరం, మాక్స్వెల్ విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత క్షేత్రాలను ఏకీకృతం చేశాడు మరియు కాంతి యొక్క విద్యుదయస్కాంత సిద్ధాంతాన్ని అభివృద్ధి చేశాడు. ఇక్కడ శూన్యంలో లేదా ఏదైనా మాధ్యమంలో కాంతి వేగం మాధ్యమం యొక్క పర్మిటివిటీ మరియు పర్మియబిలిటీ పై ఆధారపడి ఉంటుంది.

శూన్యంలో కాంతి వేగం$c = 1/\sqrt{\mu_o \epsilon_o}$

పదార్థ మాధ్యమంలో కాంతి వేగం$v = 1/\sqrt{\mu\epsilon} = 1/\sqrt{\mu_o \mu_r \epsilon_o \epsilon_r}$

అందువలన మాధ్యమం యొక్క రెఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ ఇలా ఇవ్వబడుతుంది

$$n = \frac{c}{v} = \frac{1/\sqrt{\mu_o \epsilon_o}}{1/\sqrt{\mu_o \mu_r \epsilon_o \epsilon_r}} = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$$

నాన్ మాగ్నెటిక్ మెటీరియల్ లో,$n = \sqrt{\epsilon_r}$

తరువాత ఐన్స్టీన్, హెన్రిచ్ హెర్ట్జ్ రచనలు అనుసరించి కాంతికి సంబంధించిన ఫోటాన్ సిద్ధాంతాన్ని ప్రతిపాదించారు. సమకాలీనంగా కాంప్టన్ ప్రభావం కూడా కాంతి ఫోటాన్ వంటి ప్రవర్తనను కలిగి ఉంటుందని నిరూపించింది.

ఆధునిక భౌతిక శాస్త్రం యొక్క పరిణామం మరియు క్వాంటం మెకానిక్స్ అభివృద్ధితో, ఆప్టిక్స్ యొక్క అధ్యయనం క్వాంటమ్ ఆప్టిక్స్ వైపు కొత్త పుంతలు తొక్కింది. ఇది పరిశోధనా రంగంలో అనేక రకాల అవకాశాలను మరియు బహిరంగ సవాళ్లకు తెరతీసింది..

కాంతి పదార్థ పరస్పర చర్య సమయంలో, కాంతి జనకం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యంతో వస్తువు యొక్క పరిమాణాన్ని పోలిస్తే ఏ సిద్ధాంతాన్ని పరిగణించాలో నిర్ణయించ వచ్చు.

ఉపయోగించిన కాంతి జనకం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యంతో పోలిస్తే వస్తువు యొక్క పరిమాణం చాలా పెద్దది అయినట్లయితే, కాంతి యొక్క రెక్టిలినియర్ మోషన్ పరిగణించబడుతుంది. దీనిని కాంతి కిరణ సిద్ధాంతం అని కూడా అంటారు. సంబంధిత ఆప్టిక్స్ను జామెట్రిక్ ఆప్టిక్స్ అంటారు. ఈ పద్ధతిని ఉపయోగించి, రిఫ్లెక్షన్, రిఫ్రాక్షన్ మరియు టోటల్ ఇంటర్నల్ రిఫ్లెక్షన్ ప్రక్రియలను విజయవంతంగా వివరించవచ్చు. డిస్పర్షన్, స్కేటరింగ్ మొదలైన దృగ్విషయాలను కూడా వివరించవచ్చు.

Subsequently, Maxwell unified electric and magnetic fields and developed electromagnetic theory of light. Here the velocity of light in vacuum or in any medium depends on the permittivity (ϵ) and permeability (μ) of the medium.

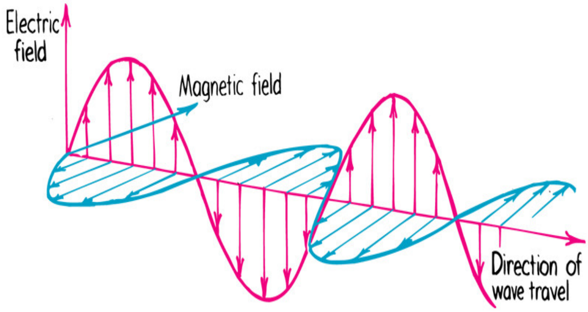


Fig: Electromagnetic wave

Velocity of light in vacuum is $c = 1/\sqrt{\mu_o \epsilon_o}$

Velocity of light in material medium is $v = 1/\sqrt{\mu\epsilon} = 1/\sqrt{\mu_o \mu_r \epsilon_o \epsilon_r}$

Thus the refractive index of the medium is given by

$$n = \frac{c}{v} = \frac{1/\sqrt{\mu_o \epsilon_o}}{1/\sqrt{\mu_o \mu_r \epsilon_o \epsilon_r}} = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$$

For nonmagnetic material media, $n = \sqrt{\epsilon_r}$

Later Einstein, followed by the works of Heinrich Hertz, proposed the photon theory of light. Contemporarily Compton Effect also has established the photon like behaviour of light.

With the evolution of modern physics and the development of quantum mechanics, optics has took a new leap into quantum optics. This opened a wide variety of possibilities and open challenges in the research field.

During the light matter interaction, which model to be considered is decided by the size of the object compared to the wavelength of the light source.

If the size of the object is very large compared to the wavelength of the light source used, rectilinear motion of light is considered. This is also called the ray model of light. The corresponding optics is called

Introduction

లిఫ్లెక్షన్ , రిఫ్రాక్షన్ సమయంలో కాంతి యొక్క ప్రవర్తన ప్రిన్సిపుల్ ఆఫ్ లీస్ట్ యాక్షన్ ద్వారా నిర్ణయించబడుతుంది. ఈ సూత్రం చార్జ్ కణాలు, అయస్కాంత ద్విధ్రువాలు మరియు భారీ వస్తువుల మధ్య ఆకర్షణ మరియు వికర్షక శక్తులను నియంత్రించే సూత్రం.

జౌల్-సెకండ్ యూనిట్ గా కలిగిన భౌతిక రాశిని యాక్షన్ అంటారు. వస్తువు యొక్క పొజిషన్ తో మొమెంటం లేదా వస్తువు యొక్క ప్రయాణ సమయంతో శక్తి లేదా వస్తువు యొక్క యాంగులర్ డిస్ప్లెసెమెంట్ తో యాంగులర్ మొమెంటంను గుణించడం ద్వారా దీనిని పొందవచ్చు.

లిఫ్లెక్షన్ జరిగే సమయంలో, కాంతి కిరణాలు ఒకే మాధ్యమంలో ప్రయాణిస్తాయి కాబట్టి, వేగం స్థిరంగా ఉంటుంది. వేగం స్థిరంగా ఉంటుంది కాబట్టి, మొమెంటం స్థిరంగా ఉంటుంది. అందువలన లీస్ట్ యాక్షన్ కండిషన్ లీస్ట్ డిస్టెన్స్ కు కుదించబడుతుంది. ఆ విధంగా లిఫ్లెక్షన్ సమయంలో చిన్నదైన మార్గం ఉత్తమ మార్గం అవుతుంది.

అదే విధంగా రెండు పదార్థాల సరిహద్దులో (బౌండరీ వద్ద) కాంతి రిఫ్రాక్షన్ జరిగినప్పుడు, కాంతి తరంగం బౌండరీ కి ఇరువైపులా కనెక్టెడ్ గా ఉండటానికి ఫ్రీక్వెన్సీ స్థిరంగా ఉండాలి. సరిహద్దుకు ఇరువైపులా తరంగాల ఫ్రీక్వెన్సీ మారుతూ ఉంటే, తరంగం డిస్కనెక్ట్ అవుతుంది. రిఫ్రాక్షన్ సమయంలో ఫ్రీక్వెన్సీ స్థిరంగా ఉండవలసి వస్తే, ప్లాంక్ సూత్రం E=hν నుండి చూసినట్లుగా శక్తి కూడా స్థిరంగా ఉంటుంది. అలాంటప్పుడు లీస్ట్ యాక్షన్ కండిషన్ లీస్ట్ టైం కు కుదించబడుతుంది. అందువల్ల రిఫ్రాక్షన్ విషయంలో ఉత్తమ మార్గం తక్కువ సమయం ద్వారా నిర్ణయించబడుతుంది.

లిఫ్లెక్షన్ రిఫ్రాక్షన్ లపై అవగాహన తరువాత తరువాత,టోటల్ ఇంటర్నల్ లిఫ్లెక్షన్, డిస్పర్షన్, స్కేటరింగ్ లాంటి దృగ్విషయాలను తేలికగా వివరించవచ్చు..

కాంతి తరంగ స్వభావం యొక్క ప్రభావాలను గమనించడానికి, వస్తువు పరిమాణం తప్పనిసరిగా ఉపయోగించిన కాంతి జనకం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యంతో పోల్చదగినదిగా ఉండాలి. ఉదాహరణకు, డబుల్ స్లిట్ ఇంటర్ఫేరెన్సు ప్రయోగం విషయంలో, పట్టీ వెడల్పు సూత్రం $\beta = D\lambda/2d$, D స్లిట్‌లు మరియు స్క్రీన్ మధ్య దూరం, $2d$ రెండు చీలికల మధ్య దూరం మరియు λ కాంతి జనకం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం. ఉదాహరణకు, $D = 1cm$, $\lambda = 532nm = 532 \times 10^{-7}cm$, మరియు $2d = 1\mu m = 1 \times 10^{-4}cm$, అయితే $\beta = 0.532cm$ అవుతుంది. ఆ విధంగా $\lambda/2d = 0.5321cm$ అయినప్పుడు అనగా, వేవ్ లెన్త్ స్లిట్ విడ్త్ తో పోల్చదగ్గ పరిమాణంలో ఉండి , స్క్రీన్ 1cm దూరంలో ఉంచినప్పుడు ఏర్పడే ఇంటర్ఫేరెన్సు పాటర్న్ పట్టీ వెడల్పు 0.532cm ఉంటుంది.

అదేవిధంగా డిఫ్రాక్షన్ పాటర్న్ గమనించడానికి, గ్రేటింగ్‌పై లేజర్ డిఫ్రాక్షన్ ప్రయోగాన్ని పరిగణించండి. సాధారణ డిఫ్రాక్షన్ గ్రేటింగ్ 15000 *lines per inch* కలిగి ఉంటుంది. అనగా; డిఫ్రాక్షన్ ఎలిమెంట్ యొక్క వెడల్పు $\frac{1}{15000} inch = \frac{2.54}{15000} cm = 1.693 \times 10^{-4}cm.$ కాంతి జనకం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం $532nm = 532 \times 10^{-7}cm$ అయితే, $100cm$ దూరం వద్ద ఉంచబడిన స్క్రీన్‌పై గమనించిన విధంగా సెంట్రల్ ఫ్రింజ్ యొక్క వెడల్పు $\sin\theta = 1\lambda/(e + d) = 532 \times 10^{-7}cm/1.693 \times 10^{-4}cm = 0.314235$ఉంటుంది.

the geometric optics. Using this model, the reflection, refraction and total internal reflection processes can be explained successfully. One may also explain the phenomena like dispersion, scattering etc.

The behaviour of light during reflection and refraction can be determined by the principle of least action, which is the governing principle for the attractive and repulsive forces between charged particles, magnetic dipoles and massive objects.

The physical quantity that has the dimensions of Joule-second is called Action. This can be obtained by multiplying momentum with the position of the object or Energy with time of travel of the object or Angular momentum with the angular displacement of the object.

In the case of reflection, since the light rays travel in the same medium, velocity remains constant. Since velocity remains constant, momentum will remain constant. Thus minimum action condition reduces to minimum distance. Thus the shortest path will become the best path during reflection.

Similarly in the case of refraction of light across a boundary, the frequency must remain constant in order to keep the wave connected across the boundary. If the frequency of wave on either side of the boundary varies, the wave gets disconnected. Thus if the frequency has to remain constant during refraction, energy also remains constant as seen from Planck's formula $E = h\nu$. In that case the condition on minimum action reduces to the condition on minimum time. Thus in the case of refraction the best path is decided by the shortest time.

Once the conditions on reflection, refraction are well established, one can explain the phenomena of total internal reflection, dispersion, scattering and the others in a convenient way.

To observe the effects of wave nature of light, the size of the object must be comparable to the wavelength of the light source used. For example, in the case of double slit interference experiment, the fringe width formula is $\beta = D\lambda/2d$, where D is the distance between slits and screen, $2d$ is the separation between the two slits and λ is the wavelength of light source.

అప్పుడు $\theta = 18°18'$ లేదా $\tan\theta = x/1 = 0.331$ లేదా $x = 0.331cm$ అవుతుంది. అందువల్ల పదార్థం యొక్క పరిమాణంతో పోల్చదగిన తరంగదైర్ఘ్యం మరియు స్క్రీన్ దూరం $1cm$ ఉన్నప్పుడు, డిఫ్రాక్షన్ పాటర్న్ యొక్క వెడల్పు $0.332cm$ ఉంటుంది. ఇది ఇంటర్ఫేరెన్స్ దృగ్విషయం విషయంలో పొందిన ఫలితాన్ని పోలి ఉంటుంది.

కాంతి సమక్షంలో వస్తువులను పరిశీలించడానికి డిఫ్రాక్షన్ లిమిట్ అని పిలువబడే రిజల్యూషన్ ప్రమాణం ఉంది. వస్తువుల మధ్య దూరం కాంతి జనకం యొక్క సగం తరంగదైర్ఘ్యం కంటే ఎక్కువగా ఉన్నప్పుడు మాత్రమే ఏదైనా రెండు వస్తువులను స్పష్టంగా గుర్తించవచ్చు. దీనినే డిఫ్రాక్షన్ లిమిట్ లేదా రిజాల్వింగ్ పవర్ అంటారు.

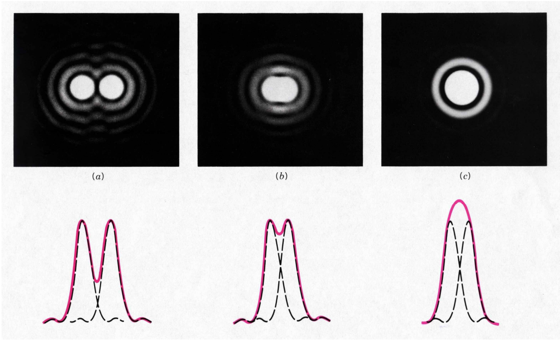


Fig: Diffraction limit on resolving power.

ఇక్కడ కాంతి తరంగం యొక్క ప్రతి శిఖరం (ప్రతి సగం తరంగంలో ఒకటి) వస్తువు గురించి ఒక పిక్సెల్ సమాచారాన్ని కలిగి ఉంటుంది. రెండు వస్తువులు ఒక సగం అలతో కప్పబడిన ప్రదేశంలో కూర్చుంటే, అవి ఒకటిగా కనిపిస్తాయి. అందువల్ల విజిబుల్ లైట్ కి మైక్రోస్కోపిక్ రిజల్యూషన్‌పై పరిమితి ఉంది. నీలిరంగు కాంతిని ఉపయోగించినప్పటికీ, 1900Å మాత్రమే రెసొల్యూషన్ ఉంటుంది.

కాంతి జనకం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యంతో పోలిస్తే వస్తువు పరిమాణం చాలా తక్కువగా ఉన్నప్పుడు, కాంతి యొక్క ఫోటాన్ నమూనాను పరిగణనలోకి తీసుకోవలసి ఉంటుంది. ఉదాహరణకు, కాంతి అణువులోని ఎలక్ట్రాన్‌తో ఇంటరాక్షన్ చెందితే, దాని ఫోటాన్ స్వభావాన్ని పరిగణనలోకి తీసుకోవాలి.

ఎలక్ట్రాన్ అధిక శక్తి స్థాయి నుండి తక్కువ శక్తి స్థాయికి దూకినప్పుడు ఫోటాన్ విడుదలవుతుంది. ఫోటాన్ ను వేవ్ ప్యాకెట్ లేదా క్వాంటం (ప్యాకెట్) శక్తిగా పరిగణించవచ్చు.

ఫోటోఎలెక్ట్రిక్ ప్రభావంలో, మన సహజ జ్ఞానం ప్రకారం కాంతి తీవ్రత పెరుగుదలతో, ఫోటోఎలెక్ట్రాన్ గతి శక్తి పెరగాలని మరియు ఫోటోఎలెక్ట్రాన్ల సంఖ్య ఫ్రీక్వెన్సీ పెరుగుదలతో పెరుగుతుందని అనిపిస్తుంది. కానీ వాస్తవంలో అందుకు విరుద్ధంగా జరుగుతోంది. ఫోటాన్ యొక్క ఫ్రీక్వెన్సీ పెరుగుదలతో, ఫోటోఎలెక్ట్రాన్ యొక్క గతి శక్తి పెరుగుతుంది మరియు తీవ్రత పెరుగుదలతో, ఫోటోఎలెక్ట్రాన్ల సంఖ్య పెరుగుతుంది మరియు ఈ పరిశీలనలను కాంతి యొక్క ఫోటాన్ చిత్రాన్ని ఉపయోగించి ఐన్‌స్టీన్ విజయవంతంగా వివరించాడు,దీని కోసం ఆయన 1921లో నోబెల్ బహుమతిని అందుకున్నారు.

For example, for $D = 1cm$, $\lambda = 532nm = 532 \times 10^{-7}cm$, and $2d = 1\mu m = 1 \times 10^{-4}cm$, we have $\beta = 0.532cm$. Thus for $\lambda/2d = 0.532$. i.e.; for wavelengths comparable to the slit size and for $1cm$ screen separation, one can observe an interference pattern with width of $0.532cm$.

Similarly to observe the effects of diffraction pattern, consider a laser diffraction experiment on a grating. A usual diffraction grating has $15000\ lines\ per\ inch$. i.e.; the width of the diffraction element is $\frac{1}{15000} inch = \frac{2.54}{15000} cm = 1.693 \times 10^{-4}cm$. If the wavelength of the light source is $532nm = 532 \times 10^{-7}cm$, then the width of the central fringe as observed on a screen placed at $100cm$ distance is $\sin\theta = 1\lambda/(e + d) = 532 \times 10^{-7}cm/1.693 \times 10^{-4}cm = 0.314$ Then $\theta = 18°18'$. Or $\tan\theta = x/1 = 0.331$ or $x = 0.331cm$. Thus for wavelength comparable to the size of the material and for a screen distance of $1cm$, the width of the diffraction pattern is $0.332cm$. This is similar to the result obtained in the case of interference phenomenon.

There is a resolution criterion, known as the diffraction limit, for the observation of objects in the presence of light. Any two objects can be clearly distinguished only when the separation between the objects is more than half the wavelength of the light source. This is called diffraction limit or resolving power.

Here each peak of the light wave (one in each half wave) carries one pixel of information about the object. If two objects sit in a place covered by one half wave, they will be seen as one. Thus there is a limit on microscopic resolution for visible light. Even if blue light is used, one can resolve up to 1900Å only.

When the object size is negligibly small compared to the wavelength of the light source, then one may need to consider the photon model of light. For example when light interacts with the electron in an atom, then one needs to consider its photon nature.

Photon is emitted when an electron jumps from a higher energy level to a lower energy level. Photon may be considered as a wave packet or a quantum (packet) of energy.

Introduction

ఫ్రీక్వెన్సీ యొక్క సాధారణ అర్థం యూనిట్ సమయానికి ఏదో ఒక సంఖ్య. ఉదా: ఒక మార్గంలో బస్సుల ఫ్రీక్వెన్సీ. అయితే, ఇక్కడ మనం ఒకే ఎలక్ట్రాన్ యొక్క ఫ్రీక్వెన్సీ గురించి మాట్లాడుతాము. అంటే ఏమిటి? ఇది ఫోటాన్‌లోని వేవ్ ప్యాకెట్ యొక్క ఫ్రీక్వెన్సీ. ఫోటాన్ అధిక శక్తి గ్యాప్ ట్రాన్సిషన్ నుండి ఉత్పత్తి చేయబడితే, దాని ఫ్రీక్వెన్సీ ఎక్కువగా ఉంటుంది మరియు తక్కువ శక్తి గ్యాప్ ట్రాన్సిషన్ నుండి ఉత్పత్తి చేయబడితే, దాని ఫ్రీక్వెన్సీ తక్కువగా ఉంటుంది.

అప్పుడు ఒకే ఫోటాన్ తీవ్రతను ఎలా పెంచాలి? వేవ్ ప్యాకెట్‌లోని వేవ్ యాంప్లిట్యూడ్ స్క్వేర్ కి తీవ్రత లింక్ చేయబడింది. కంస్ట్రక్టివ్ ఇంటర్ఫేరెన్సు ఉంటే, యాంప్లిట్యూడ్‌లు జోడించబడతాయి. ఫోటాన్ తీవ్రత నాలుగు రెట్లు పెరిగినట్లయితే, అది వాస్తవానికి కంస్ట్రక్టివ్ గా సూపర్పోస్ చేయబడిన రెండు ఫోటాన్‌లను కలిగి ఉంటుంది.

ఈ రోజుల్లో ఫోటాన్ యొక్క కొంత భాగం కూడా గ్రహించబడింది, ఇక్కడ వివిధ పౌనఃపున్యాలు కలిగిన ఫోటాన్‌లు ఒక కాంపాక్ట్ వేవ్ ప్యాకెట్‌ను నిర్మించడానికి సూపర్పోస్ చేయబడ్డాయి.

ఇది ఆప్టిక్స్‌లో అల్ట్రాషార్ట్ పల్స్ లేజర్‌లు అనే కొత్త శాఖను ప్రారంభించింది. ప్రస్తుతం ప్రజలు అటోసెకండ్ లేజర్‌ను అభివృద్ధి చేశారు. అనగా; సగటు తరంగదైర్ఘ్యం $10{,}000\text{Å}$ మరియు పౌనఃపున్యం $3 \times 10^{12} Hz$ ఉన్న వివిధ పరారుణ కాంతి తరంగాల సూపర్‌పొజిషన్ తర్వాత, ఉత్పత్తి చేయబడిన వేవ్ ప్యాకెట్ $300\ ZeptoSecond$ కాల వ్యవధిని కలిగి ఉంటుంది. అనగా $300 \times 10^{-18} Sec$ మాత్రమే పల్స్ ఆన్ అవుతుంది. ఆ తక్కువ సమయంలో, కాంతి $s = c \times t = 3 \times 10^{8} \times 300 \times 10^{-21} = 900 \times 10^{-11}$ దూరం మాత్రమే ప్రయాణిస్తుంది. దానిని ఉపయోగించి హీలియం పరమాణువు నుండి ఎలక్ట్రాన్ బయటకు వచ్చేటటువంటి ఫోటో తీయబడింది.

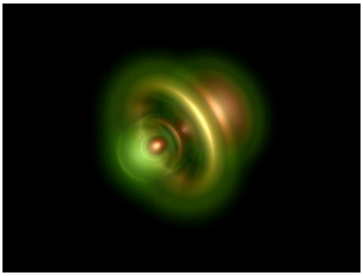


Fig: Photograph of Electron ejecting out of Helium atom.

https://www.smithsonianmag.com/smart-news/physicists-record-smallest-slice-time-yet-180961085/	

In photoelectric effect, our general intuition says that with the rise in intensity, the photoelectron kinetic energy should increase and with the rise in frequency number of photoelectrons should increase. But in reality opposite is happening. With the rise in frequency of photon, kinetic energy of photoelectron increases and with the rise in intensity, number of photoelectrons increase and these observations were successfully explained by Einstein by using the photon picture of light, for which he received Nobel prize in 1921.

The general meaning of frequency is number of something per unit time. Eg: the frequency of buses in a route. However, here we talk about frequency of a single photon. What does that mean? It is the frequency of the wave packet within the photon. If the photon is generated from a high energy gap transition, its frequency will be more and if it is generated from a low energy gap transition, its frequency will be less.

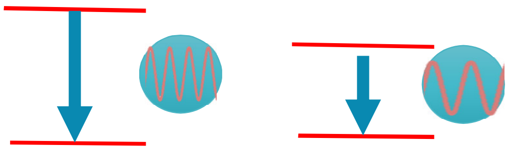


Fig: High frequency and low frequency photon.

Then how to increase the intensity of a single photon? The intensity is linked with the square of the amplitude of the wave in the wave packet. If there is a constructive interference, amplitudes will add up. Thus if a photon intensity rises by four times, it actually carries two photons which are superimposed constructively.

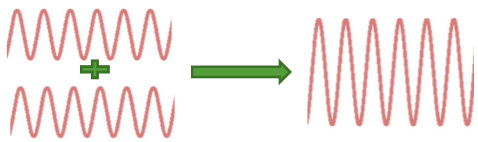


Fig: Rise in intensity by constructive interference.

Nowadays a fraction of the photon also has been realized where photons with different frequencies are superimposed to construct a compact wave packet in time.

Introduction

వివిక్త శక్తి స్థాయిలు మరియు ఫోటాన్ భావనలను స్పష్టంగా అర్థం చేసుకున్న తర్వాత, ఫోటాన్‌ల యొక్క సూపర్‌పొజిషన్‌ను అధ్యయనం చేయడానికి ఒకరు సంసిద్ధులు కావచ్చు. అన్ని ప్రాథమిక ప్రయోజనాల కోసం ఆప్టిక్స్‌లో లీనియర్ సూపర్‌పొజిషన్ పరిగణించబడుతుంది. అనగా; రెండు లేదా అంతకంటే ఎక్కువ తరంగాలు సూపర్ ఇంపోజ్ అయినప్పుడు వాటి యాంప్లిట్యూడ్ లు మొదటి ఘాతం లోనే జోడించబడతాయి.

అనగా;$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \cdots$

సూపర్‌పొజిషన్ వ్యక్తిగత యాంప్లిట్యూడ్‌ల యొక్క అధిక ఘాతం లో జరిగితే, అది "నాన్-లీనియర్ ఆప్టిక్స్" అనే ఆప్టిక్స్ యొక్క కొత్త శాఖకు దారి తీస్తుంది. ఆ అధిక ఆర్డర్ సూపర్‌పొజిషన్‌లను గమనించడానికి, కాంతి జనకాలు చాలా ఎక్కువ తీవ్రతను కలిగి ఉండాలి. అధిక శక్తి లేజర్‌ల ఆవిష్కరణతో ఇది సులభమైన పనిగా మారింది.

ఫోటాన్‌లు మరియు శక్తి స్థాయిల వివిక్త స్వభావం యొక్క మరొక వైపు క్వాంటం ఆప్టిక్స్ రంగం అభివృద్ధికి దారి తీస్తుంది, ఇక్కడ ఫోటాన్ ఉత్పత్తి, శోషణ మరియు పునఃసంయోగాలు వివిక్త పరిమాణ పద్ధతిలో జరుగుతాయి. ఇది అత్యంత సంక్లిష్టమైన లేజర్ వ్యవస్థలు మరియు ఆప్టికల్ లాజిక్ గేట్లు, ఆప్టికల్ కంప్యూటర్లు మొదలైన ఆప్టికల్ సిస్టమ్‌ల అభివృద్ధికి దారి తీస్తుంది.

https://uncw.edu/phy/documents/raphael_06.pdf	

కాంతి యొక్క మరొక ముఖ్యమైన శైలి సాపేక్ష మెకానిక్స్‌లో ఉంది, ఇక్కడ ఇది రెండు విశ్వాల మధ్య వారధిగా పనిచేస్తుంది, దీనిలో పదార్థ కణాలు వరుసగా కాంతి వేగం కంటే తక్కువ మరియు కాంతి వేగం కంటే ఎక్కువ వేగంతో ప్రయాణిస్తాయి.

మనం జీవిస్తున్న భౌతిక ప్రపంచం కణ వేగం పై పరిమితిగా కాంతి వేగాన్ని కలిగి ఉంటుంది. కణం యొక్క సాపేక్ష మొమెంటం ద్వారా ఇవ్వబడింది

$$p = \frac{p_o}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

ఎప్పుడు $v = c$ అవుతుందో $p = \infty$ అవుతుంది. ఊహాత్మకంగా కాంతి వేగం కంటే వస్తువుల వేగాలు ఎక్కువగా ఉండే మరొక భౌతిక ప్రపంచం ఉంటుంది. మన ప్రపంచం లో అభివృద్ధి చెందిన మెటీరియలిస్టిక్ ప్రోబ్స్ ఆ వ్యవస్థలను పసిగట్టలేవు. ఇక్కడ కాంతి టాకియోనిక్ ప్రపంచానికి మరియు మన ప్రపంచానికి మధ్య ఉన్న ఏకైక వంతెన.

అంతరిక్ష వాహనాలను నడపడానికి కాంతి ఇంధనంగా పనిచేసే ఎలక్ట్రోమాగ్నెటిక్-డ్రైవ్ ఇంజిన్‌లను కూడా శాస్త్రవేత్తలు అభివృద్ధి చేస్తున్నారు. ఇక్కడ రేడియేషన్ పీడనం చోదక శక్తిగా పనిచేస్తుంది. ఈ EM-డ్రైవ్ సాంకేతికతతో సైద్ధాంతికంగా అంతరిక్ష వాహనాలకు కాంతి వేగాన్ని చేరుకోవడం సాధ్యమవుతుంది.

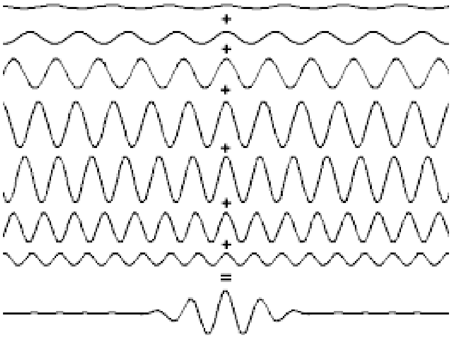


Fig: Wave packet

This opened a new branch in optics namely ultrashort pulse lasers. At present people have developed an attosecond laser. i.e.; after superposition of various infrared light waves, with average wavelength around $10{,}000\text{Å}$ and frequency $3 \times 10^{12} Hz$, the wavepacket generated has 300 $ZeptoSecond$ time period. i.e.; the pulse will be on only for $300 \times 10^{-18} Sec$. In that short time, the light will travel only a distance of $s = c \times t = 3 \times 10^{8} \times 300 \times 10^{-21} = 900 \times 10^{-11} m$. Using that an electron ejecting out of Helium atom was photographed.

Once the discrete energy levels and photon concepts are clearly understood, one may then graduate to study the superposition of photons. In optics for all basic purposes linear superposition has been considered. i.e.; when two or more waves are superimposed, their amplitudes will add up in the powers of unity.

i.e.; $Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \cdots$

where $Y_1, Y_2, Y_3, \ldots$ are the individual components. If the superposition takes place in the higher powers of individual amplitudes, then it leads to a new branch of optics called “Non-linear Optics”. To observe those higher order superpositions, the light sources must have very high intensity. With the invention of high power lasers this has become an easy task.

The other side of discrete nature of energy levels and photons led to the development of the field of Quantum Optics where photon generation, absorption and recombinations take place in discrete quantized manner. This led to the development of highly complex

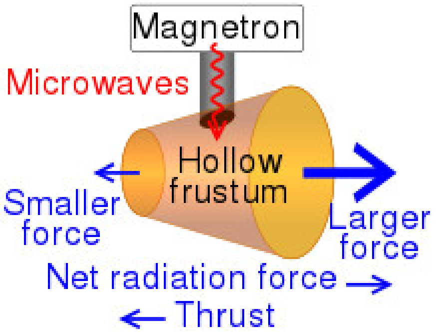


Fig: Electromagnetic Drive technology.

అందువల్ల కాంతి పదార్థం యొక్క లక్షణాలను అర్థం చేసుకోవడంలో మరియు అణు సబ్‌టామిక్ కణాల వంటి అతి చిన్న వస్తువుల నుండి విశ్వ పరిమాణంలోని చాలా పెద్ద వస్తువుల యొక్క అన్వేషించబడని పార్శ్వాలను గ్రహించడంలో కీలక పాత్ర పోషిస్తుంది. అందువల్ల కాంతి యొక్క లక్షణాల అధ్యయనం, ప్రకృతి రహస్యాల చిక్కుముడులను విప్పుటకు, కాంతి యొక్క నిజమైన సామర్థ్యాన్ని గ్రహించుటకు ఉపయోగపడుతుంది.

ఈ పరిచయంతో, మనము ఆప్టిక్స్ అధ్యయనంలోని వివిధ శాఖల ప్రాథమిక వర్గీకరణను పొందుపరచిన తరువాత పుస్తకం యొక్క తదుపరి కోర్సులోకి వెళ్తాము.

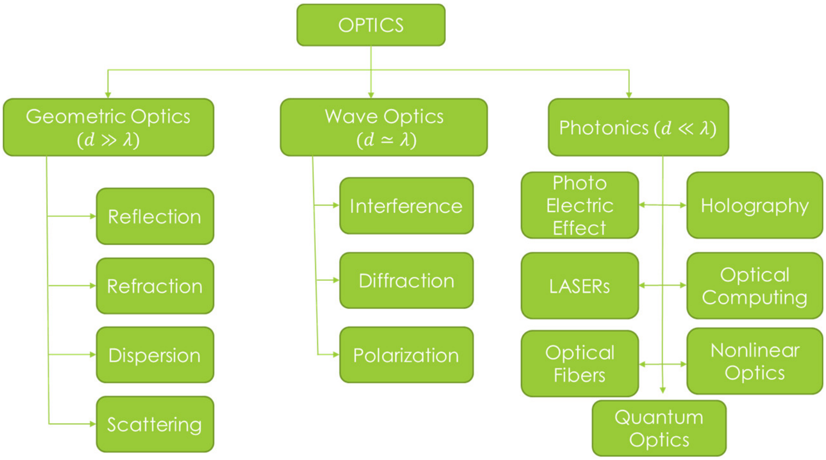


Fig: Sub-branches of Optics

Laser systems and optical systems like optical logic gates, optical computers etc.

Another most important genre of light is in the relativistic mechanics, where it acts as a bridge between the two universes in which the material particles travel with velocities less than the speed of light and more than the speed of light respectively.

The physical realm we are living in has a light velocity as the upper limit on the particle velocity. The relativistic momentum of the particle is given by

$$p = \frac{p_o}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

When $v = c, p = \infty$. Hypothetically there would be another physical realm where velocities of objects are more than the speed of light. The materialistic probes developed in our realm can't sense those systems. Here light is the only bridge between the tachyonic world and our world.

Scientist are also developing ElectroMagnetic-drive engines where light acts as a fuel to run the space vehicles. Here the radiation pressure acts as the driving force. With this EM-drive technology theoretically it is possible to attain near the light velocity to space vehicles.

Thus light plays a crucial role in understanding the properties of matter and realizing the unexplored realms of extremely large objects of cosmic size to extremely small objects like nuclear subatomic particles. Hence the study of properties of light makes us to explore the true potential of light in order to unravel the secrets of nature.

With this introduction, we will give a basic classification of branches in the study of optics and go into the further course of the book.

UNIT-1

INTERFERENCE OF LIGHT

కాంతి యొక్క

ఇంటర్ఫెరెన్స్

CHAPTER 1

కాంతి యొక్క ఇంటర్ఫెరెన్స్

శిక్షణ లక్ష్యాలు

ఈ అధ్యాయంలో విద్యార్థులు ఈ క్రింది విషయాలు నేర్చుకుంటారు,

1. ఇంటర్ఫెరెన్స్ యొక్క ప్రాథమికాలు, ఇంటర్ఫెరెన్స్కి షరతులు.
2. వివిధ రకాల ఇంటర్ఫెరెన్స్ మరియు రిఫ్లెక్షన్ లో ఫేజ్ మార్పునకు స్టోక్ పరిచర్య.
3. లాయిడ్ అద్దం.
4. పలుచని పొరలలో ఇంటర్ఫెరెన్స్ మరియు రంగులు, న్యూటన్ రింగులు
5. మైఖేల్సన్ ఇంటర్ఫెరోమీటర్.

అభ్యసన ఫలితాలు

అధ్యాయం ముగిసే సమయానికి,విద్యార్థులు ఈ క్రిందివి చేయగలరు

1. కాంతి తరంగాల స్థిరమైన ఇంటర్ఫెరెన్స్ కోసం వివిధ పరిస్థితులను వివరించగలరు .
2. కాంతి యొక్క వివిధ రకాల ఇంటర్ఫెరెన్స్లను వివరించగలరు .
3. సన్నని ఫిల్మ్లలో & లాయిడ్ మిర్రర్పై ఇంటర్ఫెరెన్స్ని ప్రదర్శించగలరు .
4. న్యూటన్ రింగ్ యొక్క వ్యాసంపై ప్లానో-కుంభాకార లెన్స్ యొక్క రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ మరియు వక్రత వ్యాసార్థం యొక్క ప్రభావాలను విశ్లేషించగలరు .
5. స్టోక్ చికిత్సను ఉపయోగించి పలుచని పొరలలో నిర్మాణాత్మక మరియు విధ్వంసక ఇంటర్ఫెరెన్స్కి సంబంధించిన పరిస్థితులను సమర్థించగలరు .
6. వివిధ రంగాలలో ఇంటర్ఫెరెన్స్ని అప్లై చేయడానికి ప్రోటోటైప్ నమూనాలను అభివృద్ధి చేయగలరు .

INTERFERENCE OF LIGHT

CHAPTER 1

Syllabus

Introduction, Conditions for interference of light, Interference of light by division of wave front and amplitude, Phase change on reflection - Stokes' treatment, Lloyd's single mirror, Interference in thin films: Plane parallel and wedgeshaped films, colours in thin films, Newton's rings in reflected light-Theory and experiment, Determination of wavelength of monochromatic light, Michelson interferometer and determination of wavelength.

Learning Objectives

In this chapter students would learn about,

1. Basics of interference, conditions for interference.
2. Various types of interference and Stokes' treatment of phase changes upon reflection.
3. Lloyd's mirror.
4. Interference and colors in thin films, Newton's rings
5. Michelson Interferometer.

Learning Outcomes

By the end of the chapter, student would be able to

1. Describe various conditions for sustainable interference of light waves.
2. Explain various types of interference of light.
3. Demonstrate interference in thin films & on Lloyd's mirror.
4. Analyze the effects of refractive index and radius of curvature of plano-convex lens on Newton's ring diameter.
5. Justify the conditions for constructive and destructive interference in thin films using Stoke's treatment.
6. Develop prototype models for application of interference in various fields.

వివిధ ప్రోగ్రాం లకు చెందిన నిర్దిష్ట ఫలితాలు మరియు భవిష్యత్ దిశానిర్దేశకాలు

ఈ అధ్యాయం ముగిసే సమయానికి నిర్దిష్ట ప్రోగ్రామ్‌ల నుండి విద్యార్థులు క్రింది రంగాలలో కాంతి ఇంటర్ఫెరెన్సు యొక్క అవసరాన్ని గుర్తించగలరు.

1. 1. ఫిజిక్స్: ఇంటర్‌ఫెరోమెట్రీ టెక్నిక్ స్పెక్ట్రోస్కోపీ, ఖగోళ శాస్త్రం, ఆప్టికల్ ఫైబర్స్, మెటీరియల్ సైన్స్‌లో దాని అప్లికేషన్‌లను కలిగిఉంది.
2. రసాయన శాస్త్రం:స్పెక్ట్రోస్కోపిక్ పద్ధతులు ఇంటర్ఫెరోమెట్రీని ఉపయోగిస్తాయి మరియు అదనంగా, ద్రవ నమూనాల రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ , స్నిగ్ధత, కణ పరిమాణం మొదలైనవాటిని ఇంటర్ఫెరెన్సు పద్ధతులను ఉపయోగించి విశ్లేషించవచ్చు.
3. కంప్యూటర్ సైన్స్:ఆప్టికల్ కంప్యూటింగ్ అనేది గణన రంగంలో ఒక అపూర్వ సాంకేతికత, ఇక్కడ సాంప్రదాయ ఎలక్ట్రానిక్ లాజిక్ గేట్‌లకు బదులుగా కాంతి యొక్క నిర్మాణాత్మక మరియు విధ్వంసక ఇంటర్ఫెరెన్సు ద్వారా లాజిక్ కార్యకలాపాలు సాధించబడతాయి.
4. భూగర్భ శాస్త్రం: మెట్రాలజీ మరియు జియోలాజికల్ నమూనాలు ఇంటర్‌ఫెరోమెట్రిక్ టెక్నిక్ ద్వారా వర్గీకరించబడతాయి.
5. ఎలక్ట్రానిక్స్:వివిధ ఆప్టోఎలక్ట్రానిక్ సెన్సార్లు, ఆప్టోమెట్రిక్ సాధనాలు మరియు ఆప్టికల్ ఫైబర్ లలో రాడ, Lifi మొదలైనవి కాంతి ఇంటర్ఫెరెన్సు సూత్రంపై ఆధారపడతాయి. బయోఅడాప్టివ్ స్మార్ట్ మభ్యపెట్టే పదార్థాలు, సైనిక అవసరాల కోసం ఇంటర్ఫెరెన్సు జ్ఞానం అవసరం.
6. పునరుత్పాదక శక్తి:సోలార్ ఫోటోవోల్టాయిక్ మరియు సోలార్ థర్మల్ సిస్టమ్స్‌లో ఉపయోగించే వివిధ నాన్‌రిఫ్లెక్టివ్ మరియు సెలెక్టివ్ శోషక పూతలు సన్నని చిత్రాలలో ఇంటర్ఫెరెన్సు యొక్క మంచి జ్ఞానం అవసరం.
7. గణాంకాలు:వివిధ ఆప్టికల్ సాధనాల నుండి ఇంటర్ఫెరెన్సు నమూనాల గణాంక విశ్లేషణ వాటి క్రమాంకనంలో అవసరం.

.సుపరిచితం నుండి అపరిచితం దాకా

మీ 12వ తరగతిలో మీరు వేవ్ ఆప్టిక్స్ కాన్సెప్ట్, సూపర్‌పొజిషన్ సూత్రం, తరంగాల పొందికైన మరియు అసంబద్ధమైన సూపర్‌పొజిషన్, కాంతి తరంగాల ఇంటర్ఫెరెన్సుకి యంగ్ యొక్క డబుల్ స్లిట్ ప్రయోగం మరియు డబుల్ స్లిట్ ప్రయోగంలో స్క్రీన్‌పై తీవ్రతల వ్యాప్తి గురించి తెలుసుకుని ఉండవచ్చు. ఈ అధ్యాయంలో, రెండు విభిన్న రకాల ఇంటర్ఫెరెన్సు ఉత్పత్తి మరియు లాయిడ్స్ మిర్రర్, న్యూటన్ రింగులు మరియు మైఖేల్సన్ ఇంటర్‌ఫెరోమీటర్ వంటి కొన్ని ప్రయోగాత్మక సెటప్‌లు, ఇంటర్ఫెరెన్సు యొక్క అప్లికేషన్‌లు వివరించబడతాయి.

Course Outcomes specific to program and Future directions

By the end of this chapter students from specific programs would be able to identify the need of Interference of light in the following fields.

8. Physics: Interferometry technique finds its applications in spectroscopy, astronomy, optical fibers, materials science.
9. Chemistry: spectroscopic techniques use interferometry and in addition, the refractive index, viscosity, particle size etc. of liquid samples can be analysed by using interference techniques.
10. Computer Science: Optical computing is a novel technique in computational field where logic operations are achived through constructive and destructive interference of light instead of conventional electronic logic gates.
11. Geology: Metrology and geological samples are characterized by interferometric technique.
12. Electronics: Various optoelectronic sensors, optometric instruments and noise in optical fibers, Lifi etc. rely on light interference principle. Bioadaptive smart camouflage materials for military needs require interference knowledge.
13. Renewable energy: Various nonreflective and selective absorbing coatings used in solar photovoltaic and solar thermal systems require a sound knowledge of interference in thin films.
14. Statistics: Statistical analysis of interference patterns from various optical instruments is essential in their calibration.

Familiar to Unfamiliar

In your 12th class you might have learned about the concept of wave optics, principle of superposition, coherent and incoherent superposition of waves, Young's double slit experiment for interference of light waves and distribution of intensities on the screen in the double slit experiment. In this chapter, two different types of producing interference pattern and a few experimental setups like Lloyd's mirror, Newton's rings and the Michelson interferometer, as applications of interference will be described.

1.1 ఉపోద్ఘాతము

ఇంటర్ఫెరెన్స్ అనే పదాన్ని థామస్ యంగ్ 1801లో తన పేపర్‌లో "ఆన్ ది మెకానిజం ఆఫ్ ది ఐ"లో ప్రవేశపెట్టాడు మరియు "ఆన్ ది థియరీ ఆఫ్ లైట్ అండ్ కలర్స్" అనే పేపర్‌లో బాగా వివరించబడింది. 1700ల చివరలో, యంగ్ సంగీత వాయిద్యాల తీగలలో అలలు మరియు బీట్ నమూనాల సూపర్‌పొజిషన్ పై పని చేస్తున్నాడు. కాంతి తరంగాలకు పని మరింత విస్తరించబడింది. అతని ప్రసిద్ధ డబుల్ స్లిట్ ప్రయోగం ఒక మైలురాయిగా నిలుస్తుంది, ఇది కఠినమైన ఆలోచనలను రేకెత్తించే చర్చలకు మరియు క్వాంటం మెకానిక్స్ అనే కొత్త భౌతిక శాస్త్రం అభివృద్ధికి తలుపులు తెరిచింది.

రెండు తరంగాలు సూపర్పోస్ చేసినప్పుడు, రెండు రకాల ఇంటర్ఫెరెన్స్ సాధ్యమవుతుంది: అవి నిర్మాణాత్మక ఇంటర్ఫెరెన్స్ మరియు విధ్వంసక ఇంటర్ఫెరెన్స్. నిర్మాణాత్మక ఇంటర్ఫెరెన్స్‌లో, రెండు సూపర్‌పోజ్డ్ తరంగాలు సున్నా ఫేజ్ వ్యత్యాసాన్ని కలిగి ఉంటాయి. విధ్వంసక ఇంటర్ఫెరెన్స్‌లో అవి ఒకదానికొకటి 180° ఫేజ్ లో లేదా సరిగ్గా వ్యతిరేక ఫేజ్ లో ఉంటాయి.

Think ...

Constructive and destructive interference are the two extreme cases of interference. Why don't we bother about other intermediate cases of superposition? Do they really exist or not?

యంగ్ యొక్క డబుల్ స్లిట్ ప్రయోగంలో, రెండు స్లిట్‌ల నుండి స్క్రీన్ దూరాన్ని బట్టి, నిర్మాణాత్మక లేదా విధ్వంసక ఇంటర్ఫెరెన్స్‌కి అవకాశం ఉంది. ఆ విధంగా మనం స్క్రీన్‌పై పక్కపక్క తెల్లని మరియు నల్లని బ్యాండ్‌లు పొందుతాము. ఇక్కడ మధ్యనున్న బ్యాండ్ ప్రకాశవంతంగా ఉంటుంది ఎందుకంటే ఇది రెండు చీలికల నుండి సమాన దూరంలో ఉంటుంది.

అంచు వెడల్పు ఇలా ఇవ్వబడింది

$$\beta = \frac{D\lambda}{2d}$$

ఇక్కడ మనము రెండు చీలికల నుండి ఉద్భవించే తరంగాల మధ్య 0° మరియు 180° ఫేజ్ వ్యత్యాసాన్ని మాత్రమే పరిశీలిస్తాము. దీన్ని అర్థం చేసుకోవడానికి, 1x, 10x మరియు 100x పౌనఃపున్యాల కోసం రూపొందించిన సైన్ కర్వ్‌ను పరిగణించగలరు . ఫ్రీక్వెన్సీ చాలా తక్కువగా ఉన్నప్పుడు, 0 నుండి 1 మధ్య ఉన్న సైన్ ఫంక్షన్ యొక్క వ్యత్యాసాలు స్పష్టంగా కనిపిస్తాయి. పౌనఃపున్యం మధ్యస్తంగా ఎక్కువగా ఉన్నప్పుడు అందరూ చూడగలిగేది 0 మరియు 1 మాత్రమే. పౌనఃపున్యం చాలా ఎక్కువగా ఉన్నప్పుడు, చూడగలిగేది 1 యొక్క ఏకరీతి వ్యాప్తి మాత్రమే. ఇంటర్ఫెరెన్స్ అంచుల మెరుగైన దృశ్యమానత కోసం, తరంగాల ఫ్రీక్వెన్సీ మధ్యస్తంగా ఉండాలి. లేదా చీలిక పరిమాణంతో పోల్చవచ్చు. స్లిట్ వెడల్పును కనిష్టంగా ఉంచడం ద్వారా మరియు క్రింది ఆప్లెట్‌లో స్లిట్‌ల మధ్య విభజనను సర్దుబాటు చేయడం ద్వారా దీన్ని ధృవీకరించవచ్చు. (ఇక్కడ డిఫ్రాక్షన్ ప్రభావాలను అణిచివేసేందుకు చీలిక వెడల్పు తక్కువగా ఉంచబడుతుంది.)

1.1 Introduction

The word interference was introduced by Thomas Young in 1801 in his paper entitled "On the mechanism of the eye" and was well explained in the paper entitled "On the theory of light and colours". During the late 1700's, Young was working on the superposition of waves and beat patterns in the strings of musical instruments. The work was further extended to light waves. His famous double slit experiment stands as a landmark work which opened doors for rigorous thought provoking discussions and for the development of a new branch of physics namely quantum mechanics.

When two waves superimpose, two types of interference are possible: namely constructive interference and destructive interference. In constructive interference, the two superposed waves have zero phase difference. In destructive interference they are 180° out of phase or exactly opposite in phase with each other.

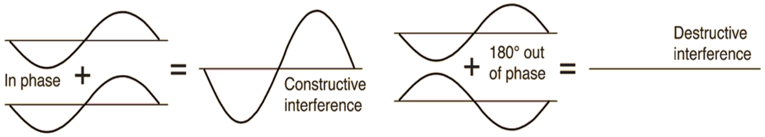


Fig: Constructive interference and Destructive interference.

In Young's double slit experiment, depending on the distance of the screen from the two slits, there is a possibility of constructive or destructive interference. Thus we get alternate bright and dark bands on the screen. Here the central fringe is bright because it is at equal distance from both the slits.

The fringe width is given by

$$\beta = \frac{D\lambda}{2d}$$

Here we consider only the case of 0° and 180° phase difference alternately between the waves emerging from the two slits. To understand this, consider a sine curve plotted for 1x, 10x and 100x frequencies.

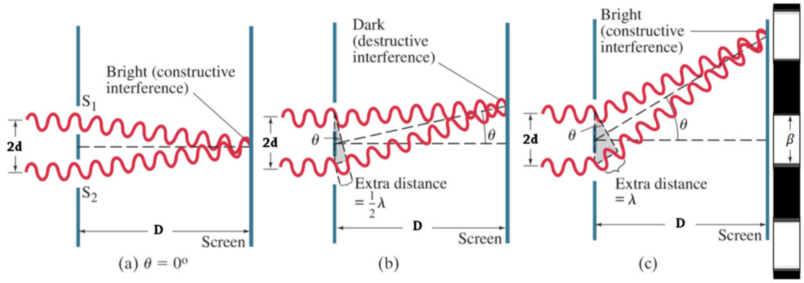


Fig: Youmg's Double slit experiment.

https://javalab.org/en/double_slit_en/ https://phys.libretexts.org/@go/page/27765 https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/3-1-youngs-double-slit-interference https://iu.pressbooks.pub/openstaxcollegephysics/chapter/youngs-double-slit-experiment/	

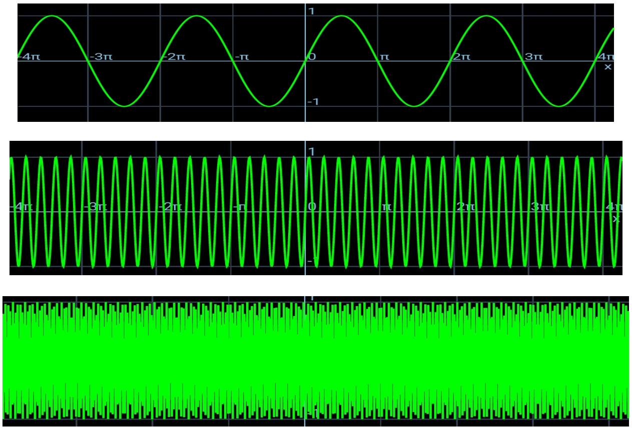


Fig: Sine waves with frequency 1x, 10x, 100x

చీలికల మధ్య విభజన చాలా తక్కువగా ఉంటే, పట్టీలు మసకబారుతాయి మరియు విభజన పెరిగేకొద్దీ, పట్టీలు స్పష్టంగా మారుతాయి.

When the frequency is very low, the vaiations of sine function between 0 to 1 are clearly visible. When the frequency is moderately high all one could see is only 0 and 1. When the frequency is extremely high, all one could see is only a uniform spread of 1. For better visibility of interference fringes, the frequency of waves must be moderately high or comparable to the size of the slit. This can be verified by keeping the slit width minimal and adjusting the separation between the slits in the following applet. (Here slit width is kept minimal to supress the diffraction effects.)

If the separation between slits is very low, fringes are smudged and as the separation increases, fringes become sharper.

1.2 Conditions for interference of light

The expression for fringe width in Young's double slit experiment is given by

$$\beta = \frac{D\lambda}{2d}$$

Here D is the separation between slits and the screen; λ is the wavelength of the light source and $2d$ is the separation between the two slits.

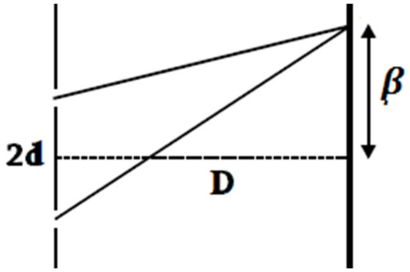


Fig: Young's double slit experiment

1. **Condition for sustainability:**

Usually light sources emit light in the form of pulses of waves where each pulse is a result of some atomic transition. The interference

1.2 కాంతి ఇంటర్ఫెరెన్సు కోసం షరతులు

యంగ్ యొక్క డబుల్ స్లిట్ ప్రయోగంలో పట్టీ వెడల్పు ఇలా ఇవ్వబడింది

$$\beta = \frac{D\lambda}{2d}$$

ఇక్కడ చీలికలు మరియు స్క్రీన్ మధ్య D ఉంది; λ అనేది కాంతి జనకం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం మరియు $2d$ ఇది రెండు చీలికల మధ్య దూరం.

1. **స్థిరత్వం కోసం షరతులు:**

సాధారణంగా కాంతి వనరులు తరంగాల పల్స్ ల రూపంలో కాంతిని విడుదల చేస్తాయి, ఇక్కడ ప్రతి పల్స్ ఒక పరమాణు పరివర్తన ఫలితంగా ఉంటుంది. కాంతి జనకం పల్స్ లకు బదులుగా నిరంతర తరంగాలను విడుదల చేసినప్పుడు మరియు తరంగదైర్ఘ్యం, ఫ్రీక్వెన్సీ సమయానికి స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు మాత్రమే ఇంటర్ఫెరెన్సు పాటర్న్ స్థిరంగా (ఎప్పటికీ) ఉంటుంది. ఈ పరిస్థితులన్నీ "కోహెరెన్స్" అనే ఒకే పదంలో ప్యాక్ చేయబడవచ్చు. అనగా; ఇంటర్ఫెరెన్సు నమూనాను స్థిరంగా నిర్వహించడానికి రెండు కాంతి వనరులు తప్పనిసరిగా కోహెరెన్స్ లో ఉండాలి.

2. **పరిశీలన కోసం షరతులు:**

పట్టీల నమూనా గణనీయమైన వెడల్పుతో మాత్రమే స్పష్టంగా కనిపిస్తుంది

a. , రెండు చీలికల మధ్య విభజన$2d$తగినంతగాతక్కువ గా ఉన్నప్పుడు,

b. D, స్లిట్‌లు మరియు స్క్రీన్ మధ్య సెపరేషన్ తగిన విధంగా ఎక్కువగా ఉన్నప్పుడు మరియు

c. λ,కాంతి తరంగదైర్ఘ్యం తగిన విధంగా ఎక్కువగా ఉన్నప్పుడు.

3. **దృశ్యమానత కోసం షరతులు:**

a. మంచి కాంట్రాస్ట్‌తో అంచుల దృశ్యమానత కోసం షరతును మైఖేల్సన్ సగటు తీవ్రతకు డోలన తీవ్రత యొక్క నిష్పత్తిగా అందించారు, అనగా;

$$V = \frac{A}{\bar{I}} = \frac{(I_{max} - I_{min})/2}{(I_{max} + I_{min})/2} = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

b. ఇక్కడ $I_{max} = (a_1 + a_2)^2$ మరియు $I_{min} = (a_1 - a_2)^2$; a_1 and a_2 ఇవి వరుసగా స్లిట్-1 మరియు స్లిట్-2 నుండి కాంతి తరంగాల యాంప్లిట్యూడ్.

c. చీలిక వెడల్పు కనిష్టంగా తక్కువగా ఉంటే, ప్రతి చీలిక వద్ద డిఫ్రాక్షన్ ప్రభావం తగ్గించబడుతుంది మరియు డిఫ్రాక్షన్ నమూనా యొక్క అతివ్యాప్తి లేకుండా స్వచ్ఛమైన ఇంటర్ఫెరెన్సు నమూనా ఏర్పడుతుంది. (మరిన్ని వివరాలు తదుపరి అధ్యాయంలో చూడవచ్చు.)

pattern will remain sustainable (forever) only when the light source emits continuous waves instead of pulses and also the wavelength, frequency should remain constant in time. All these conditions may be packed into a single word called "Coherence". i.e.; the two light sources must be coherent to maintain the interference pattern sustainably.

4. Condition for observation:

The fringe pattern will be visible clearly with considerable width only when

a. $2d$, the separation between the two slits is sufficiently low,
b. D, the Seperation between the slits and screen is suitably high and
c. λ, the wavelength of light is suitably high.

5. Condition for Visibility:

a. The condition for visibility of fringes with good contrast was given by Michelson as the ratio of oscillating intensity to average intensity i.e.;

$$V = \frac{A}{\bar{I}} = \frac{(I_{max} - I_{min})/2}{(I_{max} + I_{min})/2} = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

b. Here $I_{max} = (a_1 + a_2)^2$ and $I_{min} = (a_1 - a_2)^2$; a_1 and a_2 are the amplitudes of light waves from slit-1 and slit-2 respectively.
c. If the slit width is minimally low, then the effect of diffraction at each slit will be minimized and pure interference pattern will be formed without the overlap of diffraction pattern. (Further details may be found in the next chapter.)

1.3 Types of interference

The best possible way to obtain two coherent light sources is by deriving them from a single light source. There are two possible ways to achieve this.

1.3 ఇంటర్ఫెరెన్సు రకాలు

రెండు కొహరెంట్ కాంతి జనకాలను పొందేందుకు ఉత్తమమైన మార్గం వాటిని ఒకే కాంతి జనకం నుండి పొందడం. దీన్ని సాధించడానికి రెండు మార్గాలు ఉన్నాయి.

1. **వేవ్ ఫ్రంట్ విభజన ద్వారా:**

ఈ వర్గంలో, సాధారణ కాంతి జనకం నుండి ఉద్భవించిన వేవ్‌ఫ్రంట్‌ను విభజించడం ద్వారా కొహరెంట్ కాంతి జనకాలు పొందబడతాయి, అద్దాలు, బై ప్రిజమ్‌లు, లెన్సులు లేదా చీలికలు వంటి వివిధ దృశా పరికరాలు ఉపయోగించడం ద్వారా. ఈ పద్ధతికి పాయింట్ కాంతి జనకం లేదా సన్నని చీలిక కాంతి జనకం అవసరం. ఫ్రెనెల్ యొక్క వేవ్ సిద్ధాంతం ప్రకారం, వేవ్‌ఫ్రంట్ అనేది ఒకే యాంప్లిట్యూడ్ తో ఉన్న పాయింట్ల లోకస్ మరియు వేవ్‌ఫ్రంట్‌లోని ప్రతి పాయింట్ ద్వితీయ వేవ్‌ఫ్రంట్‌కు మూలంగా పనిచేస్తుంది.
ఈ వర్గం యొక్క క్లాసిక్ ఉదాహరణలు యంగ్స్ డబుల్ స్లిట్, ఫ్రెనెల్ యొక్క బై ప్రిజమ్, లాయిడ్స్ మిర్రర్.

2. **వ్యాప్తి యొక్క విభజన ద్వారా:**

ఈ వర్గంలో, ఒకే కాంతి జనకం నుండి వచ్చే కాంతి పుంజం పాక్షిక రిఫ్లెక్షన్ లేదా రిఫ్రాక్షన్ ద్వారా రెండు లేదా అంతకంటే ఎక్కువ భాగాలుగా విభజించబడింది. ఈ కిరణాలు వేర్వేరు మార్గాల్లో ప్రయాణిస్తాయి మరియు చివరకు ఇంటర్ఫెరెన్సు నమూనాను ఉత్పత్తి చేయడానికి కలిసి ఉంటాయి. ఈ పద్ధతికి విస్తరించిన కాంతి జనకం అవసరం.

ఉదాహరణ: పలుచని పొరలు, న్యూటన్ రింగులు, మైఖేల్సన్ ఇంటర్‌ఫెరోమీటర్ మొదలైనవి.

1.4 రిఫ్లెక్షన్ లో ఫేజ్ మార్పునకు స్టోక్ పరిచర్య

రెండు మాధ్యమాలను వేరుచేసే సరిహద్దుపై కాంతి పడినప్పుడు, దానిలో కొంత భాగం ప్రసారం చేయబడుతుంది మరియు కొంత భాగం ప్రతిబింబిస్తుంది. రెండు మాధ్యమాలను వేరుచేసే ఇంటర్‌ఫేస్‌ను పరిగణించండి. r,t అనేది మాధ్యమం – 1 యొక్క ప్రతిబింబం మరియు ప్రసార గుణకాలుగా ఉండనివ్వండి మరియు r^`,t` వరుసగా మాధ్యమం – 2గా ఉండనివ్వండి.
మీడియం నుండి ఇంటర్‌ఫేస్‌పై పడే a అనే యాంప్లిట్యూడ్ కలిగిన కాంతి కిరణాన్ని పరిగణించండి - 1. అప్పుడు ar అనేది ప్రతిబింబించే కిరణం యొక్క యాంప్లిట్యూడ్ మరియు at ప్రసారం చేయబడిన కిరణాల యాంప్లిట్యూడ్ అవుతుంది.
పరిస్థితిని రివర్స్ చేద్దాం. అంటే; మీడియం- 1 నుండి ఇంటర్‌ఫేస్‌పై కుడివైపు నుండి ar యాంప్లిట్యూడ్ తో కూడిన కిరణాన్ని పరిగణించండి మరియు మీడియం - 2 నుండి ఇంటర్‌ఫేస్‌పై పడేటప్పుడు at యాంప్లిట్యూడ్ తో కూడిన కిరణం. అప్పుడు మొదటి కిరణానికి ప్రతిబింబించే మరియు ప్రసారం చేయబడిన కిరణాల సంబంధిత యాంప్లిట్యూడ్ arr మరియు art మరియు రెండవ కిరణానికి వరుసగా atr` మరియు att` ఉంటుంది.

3. **By division of wave front:**

In this category, the coherent sources are obtained by dividing the wavefront, originating from a common source, by employing various optical elements such as mirrors, biprisms, lenses or slits. This method requires a point source or a narrow slit source. According to Fresnel's wave theory, wavefront is the locus of points with same amplitude and every point on the wavefront acts as a source of secondary wavefront.

Classic examples of this category are Young's double slit, Fresnel's biprism, Lloyd's mirror.

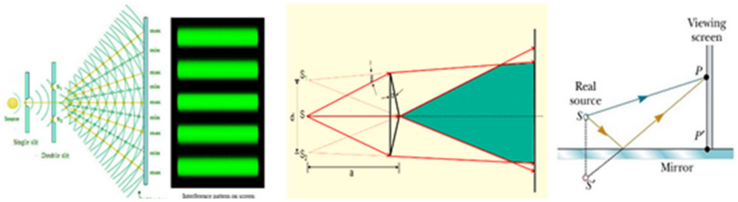


Fig: Interference by division of wavefront.

4. **By division of amplitude:**

In this category, the incident beam from a single source is divided into two or more parts by partial reflection or refraction. These beams travel different paths and finally are brought together to produce interference pattern. This method requires extended source.

Example: Thin films, Newton's rings, Michelson interferometer etc.

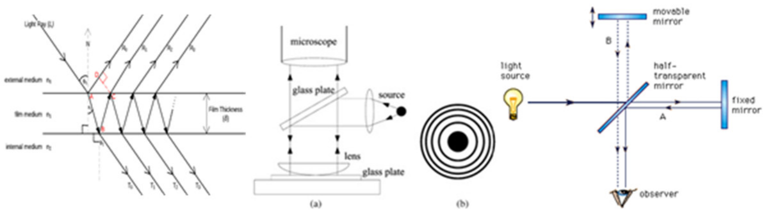


Fig: Interference by division of amplitude.

మొదటి రేఖాచిత్రంలో OD భాగం లేనందున, రెండవ రేఖాచిత్రాన్ని ఉపయోగించి .

$$atr+atr' = 0 \Rightarrow r+r' = 0 \Rightarrow r' = -r \quad -(1)$$

OA భాగాన్ని సరిపోల్చడం మరియు పై సమీకరణాన్ని ఉపయోగించడం ద్వారా ,

att`+ar^2=a⇒tt`+r^2=1⇒tt`=1-r^2=1-r^`2 -(2)

Eq (1) నుండి. , సాంద్ర - విరళ సరిహద్దు వద్ద లేదా విరళ-సాంద్ర సరిహద్దు వద్ద ప్రతిబింబించినప్పుడు 180° దశ మార్పు ఉన్నట్లు చూడవచ్చు. ప్రయోగాత్మకంగా, దశ మార్పు విరళ-సాంద్ర సరిహద్దులో సంభవిస్తుందని నిర్ధారించబడింది.

ఒక చివరన ఒక దృఢమైన మద్దతుతో మరియు చివర రింగ్‌తో ముడిపడి ఉన్న స్ట్రింగ్‌తో రెండు కేసుల యొక్క సాధారణ సారూప్యతను చూడవచ్చు. మరియు వైబ్రేషన్‌గా సెట్ చేయవచ్చు. తరంగం దట్టమైన మాధ్యమంలో ప్రతిబింబించినప్పుడు, స్థిరమైన తరంగాలు ఏర్పడతాయి. అంటే, దట్టమైన మాధ్యమంపై ప్రతిబింబం కారణంగా 180° దశ మార్పు సంభవిస్తుంది. వేవ్ అరుదైన మాధ్యమంలో ప్రతిబింబించినప్పుడు, దశ మార్పు జరగదు.

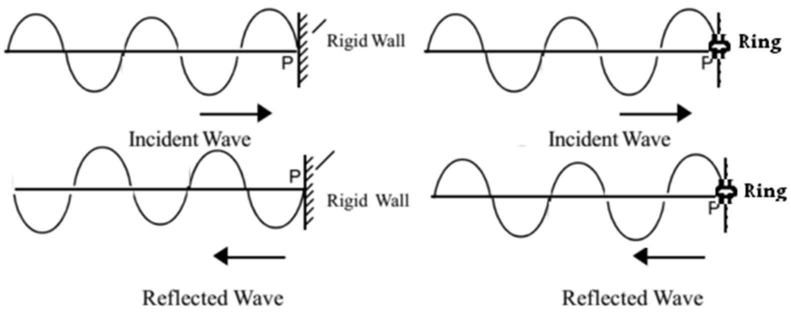


Fig: Phase change up on reflection on denser and rarer media.

The

1.4 Phase change on reflection - Stokes' treatment

When light falls on a boundary separating two media, a part of it will be transmitted and a part will be reflected. Consider an interface separating two media. Let r, t be the reflection and transmission coefficients of medium – 1 and let r', t' be for the medium – 2 respectively.

Consider a light ray with amplitude a falling on the interface from medium – 1. Then ar will be the amplitude of reflected ray and at will be the amplitude of transmitted ray.

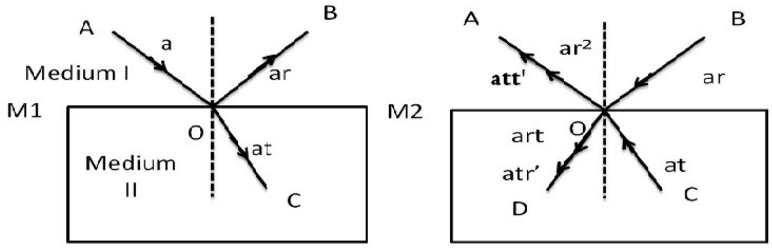


Fig: Phase change on reflection

Let us reverse the situation. i.e.; consider a ray with amplitude ar falling from right on the interface from medium – 1 and a ray with amplitude at falling on the interface from medium – 2. Then the corresponding amplitudes of reflected and transmitted rays for the first ray will be arr and art and that for the second ray will be atr' and att' respectively.

Since there is no OD component in the first diagram, using second diagram.

$$atr + atr' = 0 \Rightarrow r + r' = 0 \Rightarrow r' = -r \quad --- (1)$$

Comparing the OA component, and using above equation,

$$att' + ar^2 = a \Rightarrow tt' + r^2 = 1 \Rightarrow tt' = 1 - r^2$$
$$= 1 - r'^2 \quad --- (2)$$

From Eq. (1), one can see that there is a phase change of 180° upon reflection at the denser – rarer boundary or at rarer – denser

boundary. Experimentally it was confirmed that the phase change occurs at the rarer – denser boundary.

One can make a simple analogy of two cases with one end of a string tied to a rigid support and to a ring, set into vibration. When the wave reflects on a denser medium, stationary waves are formed. i.e., a phase change of 180° occurs due to reflection on denser medium. When the wave reflects on a rarer medium, no phase change occurs.

1.5 Lloyd's mirror

The experimental arrangement of Lloyd's mirror consists of a monochromatic light source, glass plate and screen as shown below. Light from the source falls on the mirror at a grazing angle. The incident ray and the reflected ray undergo superposition and produce interference pattern on the screen.

Here the zeroth order fringe is dark. This is because, the first ray reaches the screen directly travelling in air and the second ray reaches the screen after a reflection on a denser medium (mirror).

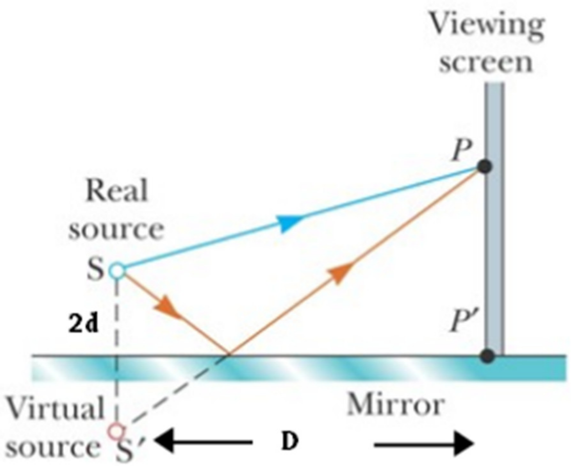


Fig: Lloyd's mirror arrangement.

The ray after reflection from the mirror seems to be emerging from a virtual source S'. Here the sources S and S' are derived from the same source by division of wavefront. Hence the condition for coherent sources is satisfied and interference pattern is produced on the screen. The fringe width in this setup is given by

$$\beta = \frac{D\lambda}{2d}$$

Here $2d$ is the separation between the two sources, D is the separation between sources and the screen and λ is the frequency of the monochromatic light source.

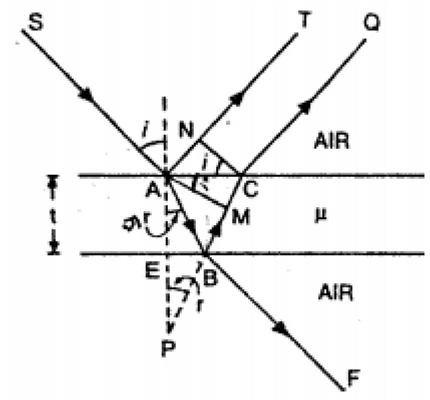
Further, the condition for destructive and constructive interference are given by

$$SP - S'P = n\lambda \ \ (Destructive)$$

$$SP - S'P = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \ \ (Constructive)$$

1.6 Interference in thin films

Plane parallel thin film interference in reflection:



1.5 లాయిడ్ అద్దం

లాయిడ్ అద్దం యొక్క ప్రయోగాత్మక అమరిక క్రింద చూపిన విధంగా ఏకవర్ణ కాంతి మూలం, గాజు పలక మరియు స్క్రీన్‌ను కలిగి ఉంటుంది. మూలం నుండి కాంతి తాకుతున్న కోణంలో అద్దం మీద పడుతుంది. సంఘటన కిరణం మరియు పరావర్తనం చెందిన కిరణం సూపర్‌పొజిషన్‌కు లోనవుతాయి మరియు స్క్రీన్ పై ఇంటర్ఫెరెన్సు నమూనాను ఉత్పత్తి చేస్తాయి.

ఇక్కడ జీరోత్ ఆర్డర్ పట్టీ చీకటిగా ఉంటుంది. ఎందుకంటే, మొదటి కిరణం నేరుగా గాలిలో ప్రయాణిస్తూ తెరపైకి చేరుతుంది మరియు రెండవ కిరణం దట్టమైన మాధ్యమం (అద్దం)పై ప్రతిబింబించిన తర్వాత తెరపైకి చేరుకుంటుంది.

అద్దం నుండి ప్రతిబింబం తర్వాత కిరణం వర్చువల్ మూలం నుండి ఉద్భవిస్తున్నట్లు కనిపిస్తోంది. ఇక్కడ మూలాలు మరియు వేవ్‌ఫ్రంట్ విభజన ద్వారా అదే మూలం నుండి ఉద్భవించబడ్డాయి. అందువల్ల కొహెరెంట్ సోర్స్ షరతు సంతృప్తికరంగా ఉంది మరియు స్క్రీన్‌పై ఇంటర్ఫెరెన్సు నమూనా ఉత్పత్తి చేయబడుతుంది. ఈ సెటప్‌లోని పట్టీ వెడల్పు దీని ద్వారా ఇవ్వబడింది$S'SS'$

$$\beta = \frac{D\lambda}{2d}$$

ఇక్కడ రెండు మూలాల మధ్య విభజన $2d$, మూలాలు మరియు స్క్రీన్ మధ్య విభజన Dమరియు ఏకవర్ణ కాంతి జనకం యొక్క ఫ్రీక్వెన్సీ.λ

ఇంకా, విధ్వంసక మరియు నిర్మాణాత్మక ఇంటర్ఫెరెన్సుకి షరతులు ఇవ్వబడ్డాయి

$$SP - S'P = n\lambda \ \ (Destructive)$$

$$SP - S'P = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \ \ (Constructive)$$

1.6 పలుచని పొరలలో ఇంటర్ఫెరెన్సు

ప్రతిబింబంలో ప్లేన్ సమాంతర పలుచని పొరలలో ఇంటర్ఫెరెన్సు:

మందం t మరియు రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ μ కలిగిన ఒక పారదర్శక ఫిల్మ్‌ను పరిగణించండి. SA సంఘటన కిరణంగా ఉండనివ్వండి. A వద్ద, కిరణం పాక్షికంగా AT వెంట ప్రతిబింబిస్తుంది మరియు పాక్షికంగా AB వెంట వక్రీభవనం చెందుతుంది. B వద్ద దానిలోని భాగం BC వెంట ప్రతిబింబిస్తుంది మరియు చివరకు CQ వెంట ఉద్భవిస్తుంది. AT మరియు CQ మధ్య పాత్ వ్యత్యాసాన్ని గణించడానికి, CN, లంబం నుండి AT మరియు AM, లంబం నుండి BC వరకు గీయండి. P వద్ద కలిసేలా AE మరియు CBని విస్తరించండి. i సంభవం కోణం మరియు r వక్రీభవన కోణం అయితే, అప్పుడు ∠APC=r, ∠NCA=i మరియు ∠CAM=r.

AT మరియు CQ మధ్య ఆప్టికల్ పాత్ వ్యత్యాసం x ద్వారా ఇవ్వబడింది

x=μ(AB+BC)-AN

Consider a transparent film of thickness t and refractive index μ. Let SA be the incident ray. At A, the ray is partly reflected along AT and partly refracted along AB. At B part of it is reflected along BC and finally emerges out along CQ. To calculate the path difference between AT and CQ, draw CN, normal to AT and AM, normal to BC. Extend AE and CB to meet at P. If i is angle of incidence and r is angle of refraction, then $\angle APC = r$, $\angle NCA = i$ and $\angle CAM = r$.

The **optical** path difference x, between AT and CQ is given by

$$x = \mu(AB + BC) - AN$$

From the polygon $ANCM$, $\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AN/AC}{CM/AC} = \frac{AN}{CM} \;\Rightarrow\; AN = \mu\, CM$

$$x = \mu(AB + BC) - \mu\, CM = \mu(AB + BC - CM) = \mu(PC - CM)$$
$$= \mu\, PM$$

In ΔAPM,

$$\cos r = \frac{PM}{AP} \;\Rightarrow PM = AP\cos r = 2t\cos r \;\Rightarrow x = 2\mu t\cos r$$

Here the ray SAT reflects from a denser medium which causes an additional path difference of $\frac{\lambda}{2}$ and the ray $ABCQ$ reflects from a rarer medium which causes no additional path difference.

Hence the true path difference is given by

$$x = 2\mu t\cos r + \left(0 - \frac{\lambda}{2}\right) = 2\mu t\cos r - \frac{\lambda}{2}$$

Thus, condition for constructive interference is

$$2\mu t\cos r - \frac{\lambda}{2} = n\lambda, \quad n = 0, 1, 2, 3\,\cdots$$

Condition for destructive interference is

$$2\mu t\cos r - \frac{\lambda}{2} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad n = 0, 1, 2, 3\,\cdots$$

బహుభుజి $ANCM$ నుండి,$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AN/AC}{CM/AC} = \frac{AN}{CM} \Rightarrow AN = \mu\, CM$

$$x = \mu(AB + BC) - \mu\, CM = \mu(AB + BC - CM) = \mu(PC - CM) = \mu\, PM$$

ΔAPM లో,

$$\cos r = \frac{PM}{AP} \Rightarrow PM = AP\cos r = 2t\cos r \Rightarrow x = 2\mu t\cos r$$

ఇక్కడ కిరణం SAT దట్టమైన మాధ్యమం నుండి ప్రతిబింబిస్తుంది, ఇది అదనపు మార్గ వ్యత్యాసానికి $\frac{\lambda}{2}$ కారణమవుతుంది మరియు $ABCQ$ కిరణం విరళ మాధ్యమం నుండి ప్రతిబింబిస్తుంది, ఇది అదనపు మార్గ వ్యత్యాసాన్ని కలిగించదు.

అందువల్ల నిజమైన మార్గం వ్యత్యాసం ఇలా ఇవ్వబడింది

$$x = 2\mu t\cos r + \left(0 - \frac{\lambda}{2}\right) = 2\mu t\cos r - \frac{\lambda}{2}$$

అందువలన, నిర్మాణాత్మక ఇంటర్ఫెరెన్సుకి షరతు

$$2\mu t\cos r - \frac{\lambda}{2} = n\lambda, \quad n = 0, 1, 2, 3 \cdots$$

విధ్వంసక ఇంటర్ఫెరెన్సుకి సంబంధించిన షరతు

$$2\mu t\cos r - \frac{\lambda}{2} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad n = 0, 1, 2, 3 \cdots$$

వక్రీభవనంలో ప్లేన్ సమాంతర పలుచని పొరలలో ఇంటర్ఫెరెన్సు:

మందం t, రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ μ యొక్క పారదర్శక ఫిల్మ్‌ను పరిగణించండి. SR సంఘటన కిరణంగా ఉండనివ్వండి. R వద్ద, కిరణం RA వెంట పాక్షికంగా వక్రీభవనం చెందుతుంది. దానిలో కొంత భాగం AT వెంట వక్రీభవనం చెందుతుంది మరియు దానిలో కొంత భాగం AB వెంట ప్రతిబింబిస్తుంది మరియు చివరకు CQ వెంట ఉద్భవిస్తుంది. AT మరియు CQ మధ్య పాత్ వ్యత్యాసాన్ని గణించడానికి, CNని గీయండి, ఇది సాధారణం నుండి AT మరియు AM వరకు ఉంటుంది, ఇది BCకి సాధారణం. P వద్ద కలిసేలా AE మరియు CBని విస్తరించండి. i సంభవం కోణం మరియు r వక్రీభవన కోణం అయితే, అప్పుడు ∠APC=r, ∠NCA=i మరియు ∠CAM=r.

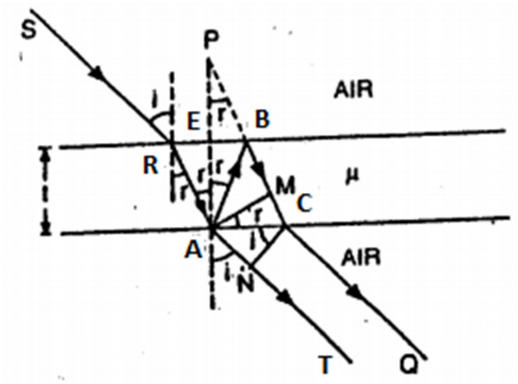
AT మరియు CQ మధ్య ఆప్టికల్ పాత్ వ్యత్యాసం x ద్వారా ఇవ్వబడింది x=μ(AB+BC)-AN

బహుభుజి $ANCM$ నుండి,$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AN/AC}{CM/AC} = \frac{AN}{CM} \Rightarrow AN = \mu\, CM$

$$x = \mu(AB + BC) - \mu\, CM = \mu(AB + BC - CM) = \mu(PC - CM) = \mu\, PM$$

ΔAPM లో, $\cos r = \frac{PM}{AP} \Rightarrow PM = AP\cos r = 2t\cos r \Rightarrow x = 2\mu t\cos r$

Plane parallel thin film interference in refraction:



Consider a transparent film of thickness t, refractive index μ. Let SR be the incident ray. At R, the ray is partly refracted along RA. At A part of it is refracted along AT and part of it is reflected along AB and finally emerges out along CQ. To calculate the path difference between AT and CQ, draw CN, the normal to AT and AM, which is the normal to BC. Extend AE and CB to meet at P. If i is angle of incidence and r is angle of refraction, then $\angle APC = r$, $\angle NCA = i$ and $\angle CAM = r$.

The **optical** path difference x, between AT and CQ is given by

$$x = \mu(AB + BC) - AN$$

From the polygon $ANCM$, $\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AN/AC}{CM/AC} = \frac{AN}{CM} \Rightarrow AN = \mu\, CM$

$$x = \mu(AB + BC) - \mu\, CM = \mu(AB + BC - CM) = \mu(PC - CM)$$
$$= \mu\, PM$$

In ΔAPM,

$$\cos r = \frac{PM}{AP} \Rightarrow PM = AP\cos r = 2t\cos r \Rightarrow x = 2\mu t\cos r$$

Here the ray $ABCQ$ reflects from a rarer medium which causes no additional path difference.

Hence the true path difference is given by

$$x = 2\mu t\cos r$$

బహుభుజి $ANCM$ నుండి,$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AN/AC}{CM/AC} = \frac{AN}{CM} \Rightarrow AN = \mu\, CM$

$$x = \mu(AB + BC) - \mu\, CM = \mu(AB + BC - CM) = \mu(PC - CM) = \mu\, PM$$

ΔAPM లో,

$$\cos r = \frac{PM}{AP} \Rightarrow PM = AP \cos r = 2t \cos r \Rightarrow x = 2\mu t \cos r$$

ఇక్కడ $ABCQ$ కిరణం విరళ మాధ్యమం నుండి ప్రతిబింబిస్తుంది, దీని వలన అదనపు మార్గం తేడా ఉండదు.

అందువల్ల నిజమైన మార్గం వ్యత్యాసం ద్వారా ఇవ్వబడింది

$$x = 2\mu t \cos r$$

అందువలన, నిర్మాణాత్మక ఇంటర్ఫెరెన్సుకి షరతు

$$2\mu t \cos r = n\lambda, \quad n = 0, 1, 2, 3 \cdots$$

విధ్వంసక ఇంటర్ఫెరెన్సుకి సంబంధించిన షరతు

$$2\mu t \cos r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad n = 0, 1, 2, 3 \cdots$$

చీలిక ఆకారపు పొర:

α కోణంలో ఉంచబడిన రెండు ప్లేన్ గ్లాస్ ప్లేట్ల మధ్య ఏర్పడిన గాలితో కూడిన చీలిక ఆకారపు ఫిల్మ్‌ను పరిగణించగలరు . చీలికపై కాంతి పతన కిరణాల యొక్క సమాంతర పుంజాన్ని పరిగణించగలరు .చీలిక ఆకారపు ఫిల్మ్ కోసం నిర్మాణాత్మక మరియు విధ్వంసక ఇంటర్ఫెరెన్సుకి షరతు ఇవ్వబడింది

$$2\mu t \cos(r + \alpha) = n\lambda \ (Constructive)$$

$$2\mu t \cos(r + \alpha) = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \ (Destructive)$$

పొర గాలికి సంబంధించినది కాబట్టి $\mu = 1$, చీలిక యొక్క కోణం α చాలా తక్కువగా ఉంది కాబట్టి మరియు నిట్టనిలువు పతన కిరణానికి r, వక్రీభవన కోణం కూడా చాలా తక్కువగా ఉంటుంది. ఈ విధంగా$\cos(r + \alpha) \simeq 1$

O నుండి వరుసగా X_1 మరియు X_2 దూరంలో వెడ్జ్ వేస్‌పై P,Q అనే రెండు పాయింట్లను పరిగణించండి. ఈ రెండు పాయింట్లు వాటి సంబంధిత గాలి ఫిల్మ్ మందం t_n మరియు t_(nతో n^th మరియు (n+1)^th ప్రకాశవంతమైన అంచులకు అనుగుణంగా ఉండనివ్వండి. +1).అప్పుడు నిర్మాణాత్మక ఇంటర్ఫెరెన్సుకి పరిస్థితి ఏర్పడుతుంది,

$$2t_n = n\lambda \Rightarrow 2X_1 \tan \alpha = n\lambda$$

$$2t_{n+1} = (n + 1)\lambda \Rightarrow 2X_2 \tan \alpha = (n + 1)\lambda$$

తీసివేసిన తర్వాత,

Thus, condition for constructive interference is

$$2\mu t \cos r = n\lambda, \quad n = 0, 1, 2, 3 \cdots$$

Condition for destructive interference is

$$2\mu t \cos r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad n = 0, 1, 2, 3 \cdots$$

Wedge shaped film:

Consider a wedge shaped film composed of air formed between two plane glass plates kept at an angle of α. Consider parallel beam of light rays incident on the wedge.

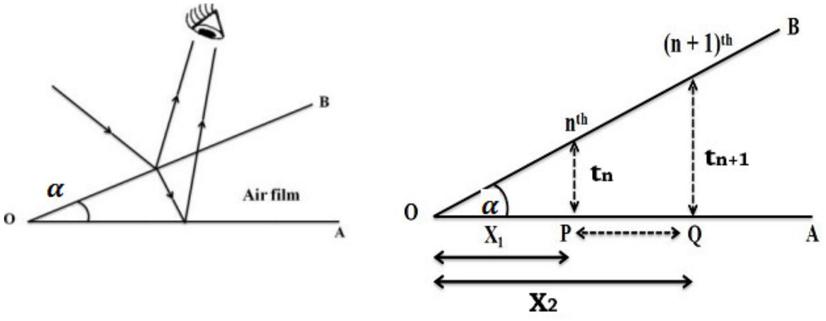


Fig: Wedge shaped film

The condition for constructive and destructive interference for wedge shaped film is given by

$$2\mu t \cos(r + \alpha) = n\lambda \ \ (Constructive)$$

$$2\mu t \cos(r + \alpha) = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \ \ (Destructive)$$

Since the film is of air, $\mu = 1$ and since α, the angle of the wedge is very small, and for near normal incidence, angle of refraction r is also very small . Thus $\cos(r + \alpha) \simeq 1$

$$2(X_2 - X_1)\tan\alpha = \lambda,$$

లేదా

$$the\ fringe\ width = X_2 - X_1 = \frac{\lambda}{2\tan\alpha} \simeq \frac{\lambda}{2\alpha}$$

అందువల్ల పట్టీ వెడల్పు చీలిక యొక్క కోణంపై మరియు ఏకవర్ణ కాంతి జనకం యొక్క ఫ్రీక్వెన్సీపై మాత్రమే ఆధారపడి ఉంటుంది. ఇది n పై ఆధారపడనందున, వెడ్జ్ మరియు కాంతి జనకం యొక్క ఇచ్చిన కోణానికి పట్టీ వెడల్పు స్థిరంగా ఉంటుంది.

1.7 పలుచని పొరలలో రంగులు

పాయింట్ సోర్స్ నుండి కాంతి సమాంతర పలుచని పొరపై పడినప్పుడు మరియు వివిధ ప్రదేశాల నుండి గమనించినప్పుడు (లేదా) విస్తరించిన మూలం నుండి కాంతి దానిపై పడినప్పుడు మరియు స్థిర స్థానం నుండి గమనించినప్పుడు, పతన కోణం i మరియు వక్రీభవన కోణం r మారుతుంది.

తెల్లని కాంతిని ఉపయోగించినట్లయితే, ఫిల్మ్‌లోని ప్రతి పాయింట్ నిర్దిష్ట తరంగదైర్ఘ్యం కోసం నిర్మాణాత్మక ఇంటర్ఫెరెన్సుకి షరతును సంతృప్తిపరుస్తుంది, ఎందుకంటే ఫిల్మ్‌పై పాయింట్ నుండి పాయింట్‌కు r విలువ మారుతుంది.

అందువలన r మరియు λ సూత్రంలో వేరియబుల్స్ అవుతాయి..$2\mu t\cos r = n\lambda$

తరంగదైర్ఘ్యాల సమితిని కవర్ చేసిన తర్వాత, $n = 2$ కి షరతులు మళ్లీ అదే రంగుల కోసం సంతృప్తి చెందుతుంది. ఆ విధంగా పలుచని ఫిల్మ్‌పై పునరావృతమయ్యే రంగుల సమూహాన్ని చూడవచ్చు. నీటిపై ఉండే ఆయిల్ ఫిల్మ్‌లపై రంగులు, సబ్బు బుడగల మొదలైన పలుచని ఫిల్మ్‌ల రంగులకు ఇవి బాధ్యత వహిస్తాయి.

Fig: Colors in thin films

Consider two points P, Q on the wedge base at a distance of X_1 and X_2 respectively from O. Let these two points correspond to n^{th} and $(n+1)^{th}$ bright fringes with their respective air film thickness t_n and t_{n+1}.

Then the condition for constructive interference becomes,

$$2t_n = n\lambda \Rightarrow 2X_1 \tan\alpha = n\lambda$$

$$2t_{n+1} = (n+1)\lambda \Rightarrow 2X_2 \tan\alpha = (n+1)\lambda$$

Upon subtraction, one obtains

$$2(X_2 - X_1)\tan\alpha = \lambda,$$

or

$$\text{the fringe width} = X_2 - X_1 = \frac{\lambda}{2\tan\alpha} \simeq \frac{\lambda}{2\alpha}$$

Thus the fringe width depends only on the angle of the wedge and on the frequency of the monochromatic light source. Since it is independent of n, fringe width remains constant for a given angle of wedge and light source.

1.7 Colors in thin films

When light from a point source falls on a parallel thin film and is observed from different locations (or) when light from extended source falls on it and is observed from a fixed location, angle of incidence i and angle of refraction r vary from point to point on the film.

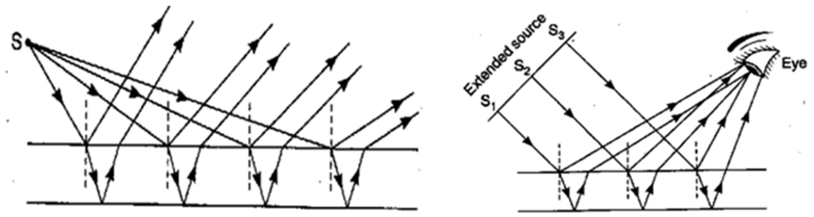


Fig: Point source and Extended source

1.8 న్యూటన్ రింగులు

ఎక్కువ ఫోకల్ లెంగ్త్ ఉన్న ప్లానో-కాన్వెక్స్ లెన్స్‌ను ప్లేన్ గ్లాస్ ప్లేట్‌పై ఉంచినప్పుడు, గ్లాస్ ప్లేట్ ఎగువ ఉపరితలం మరియు లెన్స్ దిగువ ఉపరితలం మధ్య సన్నని గాలి పొర ఉంటుంది.

ఇది చీలిక ఆకారపు గాలి పొరను ఏర్పరుస్తుంది. ఫిల్మ్ యొక్క మందం స్పర్శ బిందువు వద్ద దాదాపు సున్నా మరియు క్రమంగా బయటికి పెరుగుతుంది. గాలి పొర యొక్క స్థిరమైన మందం యొక్క బిందుపథం ఒక వృత్తాన్ని ఏర్పరుస్తుంది.

నిర్మాణాత్మక లేదా విధ్వంసక ఇంటర్ఫెరెన్స్‌కి సంబంధించిన షరతుతో మందం సరిపోలినప్పుడు, ఇంటర్ఫెరెన్స్ పట్టీ లు ఏర్పడతాయి. పైన వివరించినట్లుగా, పట్టీ లు వృత్తాకారంగా ఉంటాయి మరియు వాటిని న్యూటన్ రింగులు అంటారు.

ప్రయోగాత్మక అమరిక:

ఏకవర్ణ కాంతి మూలం S సమాంతర పుంజం ఉత్పత్తి చేయడానికి లెన్స్ L_1 ఫోకస్ వద్ద ఉంచబడుతుంది. B వద్ద $45°$ లో ఉంచబడిన గాజు పలకపై కాంతి కిరణాల సమాంతర పుంజం వస్తుంది. గ్లాస్ ప్లేట్ నుండి ప్రతిబింబించే కిరణాలు లెన్స్ L మరియు ప్లేన్ గ్లాస్ ప్లేట్ G మధ్య ఉన్న ఎయిర్ ఫిల్మ్‌పై పడతాయి. గాలి ఫిల్మ్ యొక్క ఎగువ మరియు దిగువ భాగాల నుండి కాంతి ప్రతిబింబిస్తుంది, ఇది ఇంటర్ఫెరెన్స్ నమూనాను ఉత్పత్తి చేస్తుంది. ఇది మైక్రోస్కోప్ M ద్వారా గమనించబడుతుంది.

పరావర్తనం కాంతిలో న్యూటన్ రింగ్స్:

లెన్స్ యొక్క వక్రత యొక్క వ్యాసార్థం R మరియు గాలి చలనచిత్రం O సంపర్క స్థానం నుండి OQ=r దూరంలో t మందంతో ఉందని అనుకుందాం.

ఇక్కడ ఇంటర్ఫెరెన్స్ ప్రతిబింబించే కాంతి కారణంగా ఉంటుంది. అందువల్ల ప్రకాశవంతమైన రింగుల కోసం షరతు ఇవ్వబడింది: $2\mu t\cos(r+\alpha) = \left(n-\frac{1}{2}\right)\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \cdots$

నిట్టనిలువు పతన కిరణాలకి $r = 0$ మరియు లెన్స్ యొక్క పెద్ద ఫోకల్ లెన్త్ కి, చీలిక ఆకారపు ఫిల్మ్ యొక్క కోణం చాలా తక్కువగా ఉంటుంది $\cos(\alpha) \approx 1$ మరియు అందువల్ల, . గాలి కోసం, .$\mu = 1$

కాబట్టి ప్రకాశవంతమైన పట్టీ ల షరతు

$$2t = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad n = 1, 2, 3 \cdots$$

అదేవిధంగా, చీకటి పట్టీ ల షరతు అవుతుంది,

$$2t = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \cdots$$

పై రేఖాచిత్రం నుండి,

$$EP \times HE = OE \times (2R - OE)$$

$$\Rightarrow r^2 = (2R - t) \times t \approx 2Rt \quad for\ R \gg t$$

If white light is used, each point on the film satisfies condition for constructive interference for a particular wavelength as r value varies from point to point on the film.

Thus r and λ become variables in the formula $2\mu t \cos r = n\lambda$.

After one set of wavelengths are covered, the condition again gets satisfied for $n = 2$ for the same set of colors. Thus one can see a bunch of repeating colors on the thin film. These are responsible for colors on oil films on water, colors in soap bubbles etc. thin films.

1.8 Newton's rings

When a plano-convex lens of long focal length is placed on a plane glass plate, a thin air film is enclosed between the upper surface of the glass plate and lower surface of the lens.

This forms a wedge shaped air film. The thickness of film is almost zero at the point of contact and increases gradually outwards. The locus of constant thickness of air film forms a circle.

When the thickness matches with the condition for either constructive or destructive interference, interference fringes are formed. As explained above, the fringes are circular and are called Newton's rings.

Experimental arrangement:

A monochromatic light source S is placed at the focus of a lens L_1 to generate parallel beam. The parallel beam of light rays falls on a glass plate B placed at 45°. The reflected rays from the glass plate fall on the air film enclosed between the lens L and the plane glass plate G. Light reflects from the top and bottom portions of the air film producing interference pattern. This is observed through a microscope M.

లేదా

$$t = \frac{r^2}{2R}$$

R చాలా పెద్దది కానట్లయితే, వర్గ పదాలు కూడా గణనీయమైన సహకారాన్ని అందిస్తాయి, ఇది రింగ్ నిర్మాణాన్ని క్లిష్టతరం చేస్తుంది.

అందువలన ప్రకాశవంతమైన రింగ్ కోసం,

$$r^2 = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R, \quad n = 1, 2, 3, \cdots$$

$$r = \sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R}$$

$$Diameter = \ D = 2r = 2\sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R} = \sqrt{2(2n-1)\lambda R}$$

డార్క్ రింగ్ కోసం,

$$r^2 = n\lambda R, \quad n = 0, 1, 2, 3, \cdots$$

$$r = \sqrt{n\lambda R}$$

$$Diameter = D = 2r = 2\sqrt{n\lambda R}$$

పట్టీ వెడల్పు:

ప్రకాశవంతమైన బ్యాండ్:$r_{n+1} - r_n = \sqrt{\left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda R} - \sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R}$

డార్క్ బ్యాండ్:$r_{n+1} - r_n = \sqrt{(n+1)\lambda R} - \sqrt{(n)\lambda R}$

ప్రాంతం:

ప్రకాశవంతమైన బ్యాండ్:

$$\pi r_{n+1}^2 - \pi r_n^2 = \pi\left(\left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda R - \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R\right) = \pi\lambda R$$

డార్క్ బ్యాండ్:$\pi r_{n+1}^2 - \pi r_n^2 = \pi\big((n+1)\lambda R - (n)\lambda R\big) = \pi\lambda R$

ఆ ప్రాంతం వైశాల్యం అన్ని బ్యాండ్‌లకు వాటి వ్యాసార్థంతో సంబంధం లేకుండా స్థిరంగా ఉండటం విశేషం. మరో మాటలో చెప్పాలంటే, బ్యాండ్ యొక్క వ్యాసార్థం పెరిగేకొద్దీ పట్టీ వెడల్పు తగ్గుతుంది. ఆ విధంగా మనం మందాన్ని తగ్గించే కేంద్రీకృత వృత్తాలను పొందుతాము.

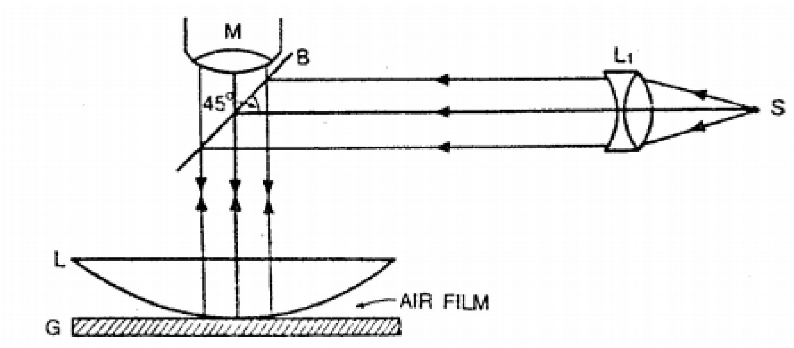


Fig: Newton's rings experimental arrangement.

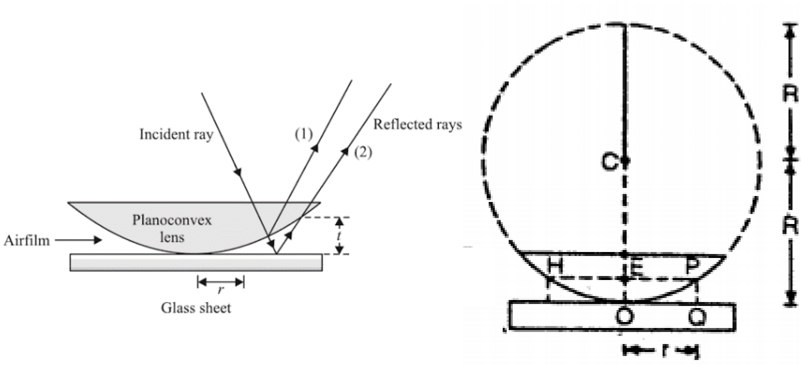
Newton rings by reflection of light:

Suppose the radius of curvature of lens is R and the air film is of thickness t at a distance $OQ = r$ from the point of contact O.

Here the interference is due to reflected light. Therefore the condition for bright rings is given by:

$$2\mu t\cos(r+\alpha) = \left(n-\frac{1}{2}\right)\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \cdots$$

For normal incidence, $r = 0$ and for large focal length of lens, the angle of wedge shaped film is negligible and hence, $\cos(\alpha) \approx 1$. For air, $\mu = 1$.



Thus condition for bright fringes becomes,

$$2t = \left(n-\frac{1}{2}\right)\lambda, \quad n = 1, 2, 3 \cdots$$

1.8 Newton's rings

మోనోక్రోమటిక్ లైట్ సోర్స్ యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం యొక్క నిర్ధారణ:

ప్లానో-కుంభాకార లెన్స్ యొక్క వక్రత వ్యాసార్ధం R మరియు ప్రతిబింబంలో ఉన్న డార్క్ n^{th}, $(n+p)^{th}$ రింగుల వ్యాసాలు D_n^2, D_{n+p}^2 గా ఉండనివ్వండి. అప్పుడు,

$$D_n^2 = 4n\lambda R$$

$$D_{n+p}^2 = 4(n+p)\lambda R$$

$$\Rightarrow D_{n+p}^2 - D_n^2 = 4p\lambda R$$

లేదా

$$\lambda = \frac{D_{n+p}^2 - D_n^2}{4pR}$$

రింగుల వ్యాసాల వర్గానికి, n కి గ్రాఫ్ గీయబడింది.

అప్పుడు వాలు ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$\frac{D_{n+p}^2 - D_n^2}{p} = \frac{AB}{CD}$$

ప్లానో-కుంభాకార లెన్స్ యొక్క వక్రత యొక్క వ్యాసార్థాన్ని R స్పిరోమీటర్ అని పిలువబడే ఒక పరికరం యొక్క సహాయం తో పొందవచ్చు, ఫార్ములా ఉపయోగించి

$$R = \frac{l^2}{6h} + \frac{h}{2}$$

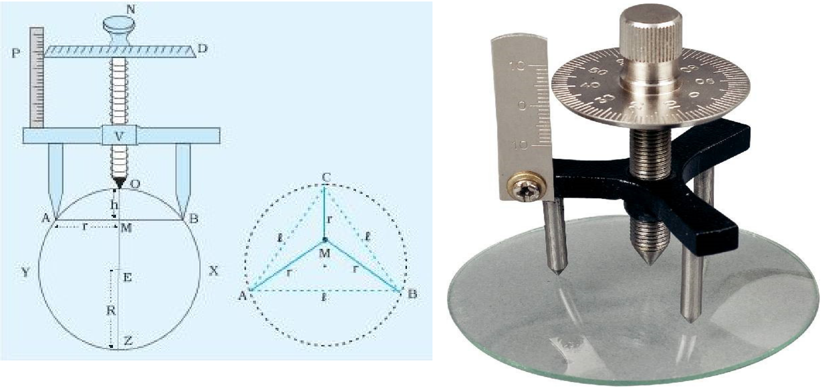


Fig: Spherometer

పై సూత్రంలో, స్పిరోమీటర్ యొక్క రెండు కాళ్ల మధ్య దూరం l మరియు ఇది ప్లానో-కుంభాకార లెన్స్పై ఉంచినప్పుడు మరియు ప్లేన్ గ్లాస్ ప్లేట్పై ఉంచినప్పుడు స్పిరోమీటర్ రీడింగ్లలో తేడా h. ఈ విలువలను భర్తీ చేయడం ద్వారా, కాంతి యొక్క తెలియని మూలం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యాన్ని గుర్తించవచ్చు.

Similarly, the condition for dark fringes becomes,

$$2t = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \cdots$$

From the above diagram,

$$EP \times HE = OE \times (2R - OE)$$

$$\Rightarrow r^2 = (2R - t) \times t \approx 2Rt \qquad for\ R \gg t$$

or

$$t = \frac{r^2}{2R}$$

If R is not very large, then quadratic terms also give considerable contribution which will complicate the ring structure.

Thus for bright ring,

$$r^2 = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R, \quad n = 1, 2, 3, \cdots$$

$$r = \sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R}$$

$$Diameter = D = 2r = 2\sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R} = \sqrt{2(2n - 1)\lambda R}$$

For dark ring,

$$r^2 = n\lambda R, \quad n = 0, 1, 2, 3, \cdots$$

$$r = \sqrt{n\lambda R}$$

$$Diameter = D = 2r = 2\sqrt{n\lambda R}$$

Fringe width:

Bright band: $r_{n+1} - r_n = \sqrt{\left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda R} - \sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R}$

Dark band: $r_{n+1} - r_n = \sqrt{(n + 1)\lambda R} - \sqrt{(n)\lambda R}$

Area:

Bright band: $\pi r_{n+1}^2 - \pi r_n^2 = \pi\left(\left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda R - \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R\right) = \pi\lambda R$

Dark band: $\pi r_{n+1}^2 - \pi r_n^2 = \pi\big((n+1)\lambda R - (n)\lambda R\big) = \pi\lambda R$

It is interesting to note that the area remains constant for all the bands, irrespective of their radius. In other words, fringe width decreases as the radius of the band increases. Thus we get concentric circles with reducing thickness.

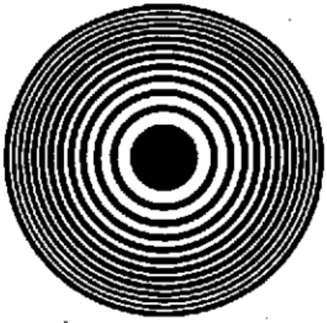


Fig: Newton's rings in reflection.

Determination of wavelength of monochromatic light source:

Let R be the radius of curvature of the plano-convex lens and D_n^2, D_{n+p}^2 are the diameters of nth and $(n+p)^{th}$ dark rings in reflection. Then,

$$D_n^2 = 4n\lambda R$$

$$D_{n+p}^2 = 4(n+p)\lambda R$$

$$\Rightarrow D_{n+p}^2 - D_n^2 = 4p\lambda R$$

or

$$\lambda = \frac{D_{n+p}^2 - D_n^2}{4pR}$$

A graph is plotted by measuring the squares of the diameters of $(n-2)$, $(n-1)$, n^{th} , $(n+1)$, $(n+2)$, $\cdots$ $(n+p)$, $(n+p+1)^{th}$ rings vs. number of the rings.

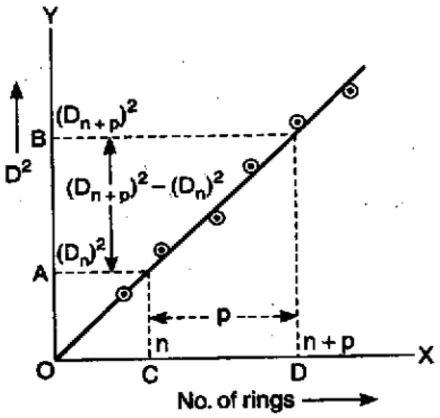


Fig: plot of n Vs D²

Then the slope is given by

$$\frac{D_{n+p}^2 - D_n^2}{p} = \frac{AB}{CD}$$

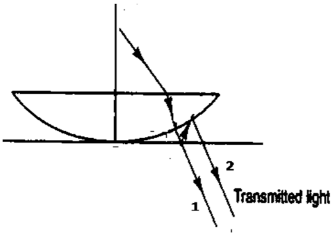
The radius of curvature R of the plano-convex lens can be obtained with the help of an instrument, known as the spherometer, using the formula

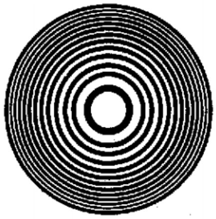
$$R = \frac{l^2}{6h} + \frac{h}{2}$$

In the above formula, l is the distance between the two legs of the spherometer and h is the difference in readings of the spherometer when placed on the plano-convex lens and when placed on a plane glass plate. Substituting these values, one can determine the wavelength of unknown source of light.

Newton rings in refraction/Transmitted rays:

Fig: Newton's rings in transmission





1.8 Newton's rings

వక్రీభవనం/ప్రసార కిరణాలలో న్యూటన్ వలయాలు:

ప్రసారం చేయబడిన కాంతి విషయంలో,రే-2దట్టమైన మాధ్యమంపై రెండు పరావర్తనాలను తీసుకుంటుంది, ఇది అదనపు ఫేజ్ మార్పు2π లేదా .λ పొందింది

అందువలన ప్రకాశవంతమైన మరియు చీకటి పట్టీ ల షరతు క్రింది విధంగా ఉండవచ్చు:

ప్రకాశవంతమైన పట్టీ :

$$2t = n\lambda \qquad n = 0, 1, 2, 3, \cdots$$

$$or\ r^2 = n\lambda R$$

$$r = \sqrt{n\lambda R}$$

$$D = 2\sqrt{n\lambda R}$$

చీకటి పట్టీ :

$$2t = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \cdots$$

$$r^2 = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R$$

$$r = \sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R}$$

$$D = 2r = 2\sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R} = \sqrt{2(2n-1)\lambda R}$$

అందువల్ల పరావర్తనంలో ప్రకాశవంతంగా కనిపించే పట్టీ లు ప్రసారంలో చీకటిగా కనిపిస్తాయి. మరో మాటలో చెప్పాలంటే, ప్రతిబింబం మరియు వక్రీభవనంలో పట్టీ నమూనాలు ఒకదానికొకటి కాంప్లిమెంటరీగా ఉంటాయి.

ద్రవ రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ యొక్క నిర్ధారణ:

రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ ,(μ) ను కొలవవలసిన ద్రవం లెన్స్ మరియు గ్లాస్ ప్లేట్ మధ్య పోస్తారు. ఇప్పుడు న్యూటన్ రింగులను ఏర్పరిచే గాలి ఫిల్మ్‌కు బదులుగా లిక్విడ్ ఫిల్మ్ నుండి కాంతి ప్రతిబింబిస్తుంది. ప్లానో-కుంభాకార లెన్స్ యొక్క వక్రత వ్యాసార్థం R మరియుn^{th}, $(n+p)^{th}$, యొక్క వ్యాసాలు D_n^2, D_{n+p}^2 మరియు గాలి ఫిల్మ్‌తో ప్రతిబింబించే ముదురు వలయాలు. అప్పుడు

$$D_n^2 = 4n\lambda R$$

$$D_{n+p}^2 = 4(n+p)\lambda R$$

$$\Rightarrow D_{n+p}^2 - D_n^2 = 4p\lambda R$$

In the case of transmitted light, ray-2 takes two reflections on denser medium which gives an additional phase change of 2π or λ.

Thus the conditions for bright and dark fringes can be obtained as follows:

Bright fringe:

$$2t = n\lambda \qquad n = 0, 1, 2, 3, \cdots$$

$$or\ r^2 = n\lambda R$$

$$r = \sqrt{n\lambda R}$$

$$D = 2\sqrt{n\lambda R}$$

Dark fringe:

$$2t = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \cdots$$

$$r^2 = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R$$

$$r = \sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R}$$

$$D = 2r = 2\sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda R} = \sqrt{2(2n - 1)\lambda R}$$

Thus whatever fringes that appear bright in reflection look dark in transmission. In other words, fringe patterns in reflection and refraction are complimentary to each other.

Determination of refractive index of a liquid:

The liquid whose refractive index (μ) to be measured is poured between the lens and the glass plate. Now the light will be reflected from the liquid film instead of the air film forming Newton's rings. Let R be the radius of curvature of the plano-convex lens and D_n^2, D_{n+p}^2 are the diameters of nth and $(n + p)^{th}$ dark rings in reflection with air film. Then,

లిక్విడ్ ఫిల్మ్‌తో లిప్లెక్షన్‌లో n^{th}, $(n+p)^{th}$ డార్క్ రింగులు మరియు డయామీటర్‌లుగా $D_n'^2$, $D_{n+P}'^2$ ఉండనివ్వండి. అప్పుడు,

$$D_n'^2 = \frac{4n\lambda R}{\mu}$$

$$D_{n+p}'^2 = \frac{4(n+p)\lambda R}{\mu}$$

$$\Rightarrow D_{n+p}'^2 - D_n'^2 = \frac{4p\lambda R}{\mu}$$

రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ ను ఇలా లెక్కించవచ్చు:

$$\mu = \frac{D_{n+p}^2 - D_n^2}{D'^2_{n+p} - D_n'^2}$$

1.9 మైఖేల్సన్ ఇంటర్ఫెరోమీటర్

మైఖేల్సన్ ఇంటర్ఫెరోమీటర్ యాంప్లిట్యూడ్ యొక్క విభజన ద్వారా ఇంటర్ఫెరెన్స్ నమూనాను ఉత్పత్తి చేస్తుంది.

కాంతి జనకం నుండి ఏకవర్ణ కాంతి సమాంతరంగా తయారు చేయబడుతుంది మరియు సంఘటన కాంతి కిరణాలకు 45° కోణంలో సెట్ చేయబడిన ఒక బీమ్ స్ప్లిటర్‌లోకి పంపబడుతుంది.

బీమ్ స్ప్లిటర్ అనేది పాక్షికంగా వెండి అద్దం. కాంతి బీమ్ స్ప్లిటర్ యొక్క దిగువ ఉపరితలంపై ప్రతిబింబిస్తుంది మరియు రెండు పరస్పరం లంబంగా ఉండే కిరణాలుగా విడిపోతుంది.

నిలువుగా ప్రయాణించే కిరణం కదిలే అద్దం M_1 ద్వారా ప్రతిబింబిస్తుంది మరియు అడ్డంగా ప్రయాణించే కిరణం కదలని అద్దం M_2 ద్వారా ప్రతిబింబిస్తుంది.

మరియు M_1 M_2 నుండి ప్రతిబింబించే కిరణాలు బీమ్ స్ప్లిటర్ దిగువ ఉపరితలం వద్ద మరియు కలుసుకుని ఇంటర్ఫెరెన్స్ నమూనా ఏర్పరుస్తాయి. దానిని .టెలిస్కోప్ T లో చూడవచ్చు.

నిలువుగా ప్రయాణించే కిరణం రెండుసార్లు బీమ్ స్ప్లిటర్ గుండా వెళుతుంది మరియు క్షితిజ సమాంతరంగా ప్రయాణించే కిరణం ఒక్కసారి మాత్రమే ప్రయాణిస్తుంది కాబట్టి, క్షితిజ సమాంతర కిరణ మార్గంలో పరిహార అద్దం B ప్రవేశపెట్టబడింది.

పని చేసే విధానం:

అద్దాలు M_1 మరియు M_2 బీమ్ స్ప్లిటర్ నుండి సమాన దూరంలో ఉంచబడతాయి. అప్పుడు యొక్క వర్చువల్ ఇమేజ్ M_2, M_2' వద్ద ఏర్పడుతుంది.

క్షితిజ సమాంతర కిరణం ఇంటర్ఫెరెన్స్ నమూనా ఏర్పడటానికి ముందు బీమ్ స్ప్లిటర్‌పై ప్రతిబింబిస్తుంది కాబట్టి, విధ్వంసక ఇంటర్ఫెరెన్స్‌కి దారితీసే అదనపు మార్గం వ్యత్యాసం $\lambda/2$ ఏర్పడుతుంది.

$$D_n^2 = 4n\lambda R$$

$$D_{n+p}^2 = 4(n+p)\lambda R$$

$$\Rightarrow D_{n+p}^2 - D_n^2 = 4p\lambda R$$

Let $D_n'^2$ and $D_{n+P}'^2$ be the diameters of nth and $(n+p)^{th}$ dark rings in reflection with liquid film. Then,

$$D_n'^2 = \frac{4n\lambda R}{\mu}$$

$$D_{n+p}'^2 = \frac{4(n+p)\lambda R}{\mu}$$

$$\Rightarrow D_{n+p}'^2 - D_n'^2 = \frac{4p\lambda R}{\mu}$$

The refractive index can be calculated as:

$$\mu = \frac{D_{n+p}^2 - D_n^2}{D'^2_{n+p} - D_n'^2}$$

1.9 Michelson interferometer

Michelson interferometer produces interference pattern by division of amplitude.

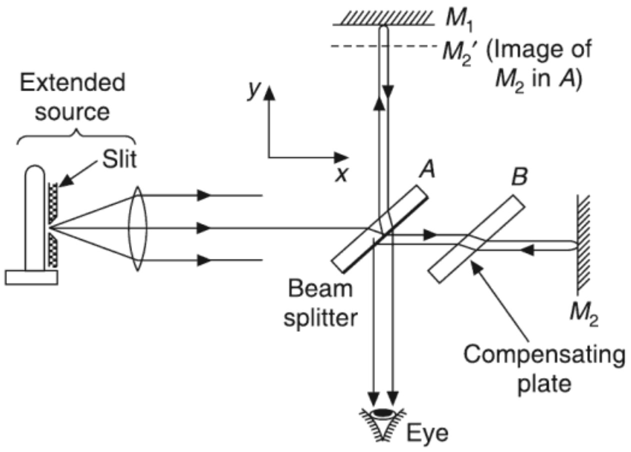


Fig: Michelson's interferometer

అద్దం M_1 పైకి తరలించబడితే, అది $\mu = 1$ తో $2\mu t \cos r = n\lambda$ ప్రకారం సమాంతర సన్నని గాలి పొర ఇంటర్ఫెరెన్సుని ఏర్పరుస్తుంది.

అద్దం యొక్క వివిధ స్థానాలు టెలిస్కోప్‌లో వివిధ కోణాలలో కనిపిస్తాయి కాబట్టి, పై సమీకరణంలో $\cos r$ మారుతూ ఉంటుంది మరియు కేంద్రీకృత వృత్తాకార పట్టీ లు ఏర్పడతాయి.

అద్దం M_1 కొంచెం వంగి ఉంటే, అది చీలిక ఆకారపు గాలి ఫిల్మ్‌ను ఏర్పరుస్తుంది మరియు పట్టీ నమూనా వృత్తాలకు బదులుగా సరళ రేఖలకు మారుతుంది.

కాంతి జనకం తరంగదైర్ఘ్యం యొక్క నిర్ధారణ:

ఇచ్చిన మోనోక్రోమటిక్ లైట్ సోర్స్ యొక్క తరంగదైర్ఘ్యాన్ని నిర్ణయించడానికి, అద్దాలు M_1మరియు M_2' సరిగ్గా సమాంతరంగా మరియు సమాన దూరంలో అమర్చబడి ఉంటాయి. అప్పుడు మార్గం వ్యత్యాసం $\lambda/2$ మరియు సెంట్రల్ డార్క్ ఫ్రింజ్ ఏర్పడుతుంది.

M_1 అద్దం $\lambda/4$ దూరం కదిలిస్తే, కాంతి కిరణం దాని పైకి మరియు క్రిందికి ప్రయాణ సమయంలో అదనపు దూరం $\lambda/2$ ప్రయాణిస్తుంది. అప్పుడు మొత్తం మార్గం వ్యత్యాసం λ అవుతుంది మరియు సెంట్రల్ పట్టీ ప్రకాశవంతంగా మారుతుంది.

ఆ విధంగా ప్రయాణించే ప్రతి .$\lambda/4$ దూరానికి, సెంట్రల్ పట్టీ దాని రంగును మారుస్తుంది. M_1 అద్దం L దూరం కదిలే సమయానికి, N పట్టీ లు షిఫ్ట్ అయితే, అప్పుడు

$$L = \frac{n\lambda}{2}$$

తెలియని కాంతి జనకం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం ఇలా ఇవ్వబడుతుంది.$\lambda = 2L/n$

For Further reading:

https://egyankosh.ac.in/handle/123456789/29380 https://egyankosh.ac.in/handle/123456789/80990 https://egyankosh.ac.in/handle/123456789/82374 https://phys.libretexts.org/@go/page/4505	

Construction:

The experimental arrangement consists of two highly polished plane glass mirrors M_1 and M_2 , kept perpendicular to each other.

Monochromatic light from a light source is made parallel and sent onto a beam splitter A set at an angle 45° to the incident light rays.

The beam splitter is a partially silvered mirror. Light reflects on the bottom surface of the beam splitter and splits into two mutually perpendicular beams.

The vertically travelling ray is reflected by a movable mirror M_1 and horizontally travelling ray is reflected by an immovable mirror M_2.

The reflected rays from M_1 and M_2 meet at the bottom surface of beam splitter and interfere.

The interference pattern can be seen in the telescope T.

Since the vertically travelling ray passes through beam splitter twice and horizontally travelling ray travels only once, a compensating mirror B is introduced in the path of horizontal ray.

Working:

The mirrors M_1 and M_2 are kept at equal distance from the beam splitter. Then a virtual image of M_2 will be formed at M_2'.

Since the horizontal ray reflects on beam splitter before interference pattern formation, there occurs an additional path difference of $\lambda/2$ that leads to destructive interference.

If mirror M_1 is moved above, it forms a parallel thin air film interference according to $2\mu t \cos r = n\lambda$ with $\mu = 1$.

Since different locations of the mirror are seen at different angles in the telescope, $\cos r$ varies in the above equation and concentric circular fringes are formed.

If the mirror M_1 is tilted a bit, it forms a wedge shaped air film and fringe pattern changes to straight lines instead of circles.

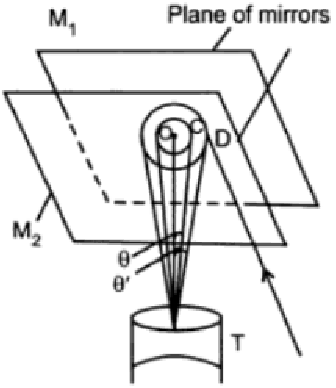


Fig: Formation of circular fringes.

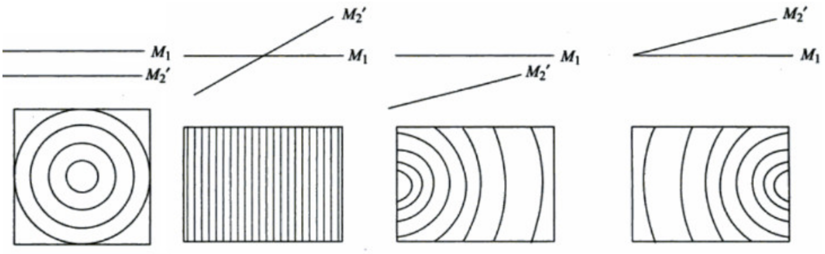


Fig: Types of Fringes.

Determination of wavelength of light source:

To determine the wavelength of the given monochromatic light source, the mirrors M_1 and M_2' are arranged exactly parallel and at equal distance. Then the path difference is $\lambda/2$ and central dark fringe is observed.

If the mirror M_1 is moved by a distance of $\lambda/4$, the light ray travels an extra distance of $\lambda/2$ during its up and down journey. Then the total path difference becomes λ and central fringe becomes bright.

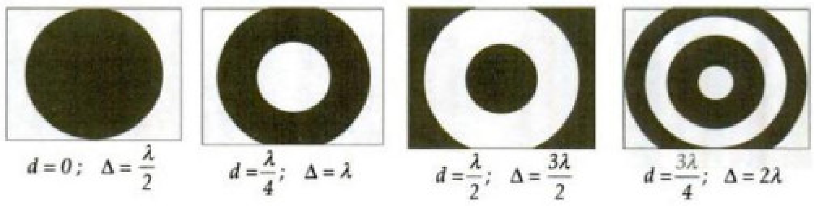


Fig: Fringe shift with movement of mirror M_1.

Thus for each $\lambda/4$ distance travelled by M_1, central fringe changes its color. Let there be N fringe shifts, by the time the mirror M_1 moves by a distance of L.

Then they are related by

$$L = \frac{n\lambda}{2}$$

The wavelength of unknown light source is given by $\lambda = 2L/n$.

Solved Problems and Exercises

1. Arrange the following telescopes, where D is the telescope diameter and λ is the wavelength, in order of decreasing resolving power: I. $D = 100m\,, \lambda = 21cm$ II. $D = 2m\,, \lambda = 500nm$ III. $D = 1m\,, \lambda = 100nm$ IV. $D = 2m\,, \lambda = 10mm$

a)III, II, IV,I b) II,III, I,IV c) IV ,III, II,I d) III, II,I, IV

IITJAM 2021

Ans: d)

Solution: $d\theta = 1.22\frac{\lambda}{D}, d\theta_I = 2.56 \times 10^{-3}; d\theta_{II} = 3.05 \times 10^{-7} d\theta_{III} = 1.22 \times 10^{-7}; d\theta_{IV} = 6.1 \times 10^{-3}$

Resolving power = $\frac{1}{d\theta} \Longrightarrow III > \ II > I > IV$

2. The condition for maxima in the interference of two waves

$$Ae^{i(\frac{k_0}{2}\sqrt{3}x+y)} \textbf{ and } Ae^{i(\frac{k_0}{\sqrt{2}}x+y)}$$

is given in terms of the wavelength λ and m, an integer, by

(a) $\left(\sqrt{3}-\sqrt{2}\right)x+\left(1-\sqrt{2}\right)y=2m\lambda$ (b) $\left(\sqrt{3}+\sqrt{2}\right)x+\left(1-\sqrt{2}\right)y=2m$

(c) $\left(\sqrt{3}-\sqrt{2}\right)x-\left(1-\sqrt{2}\right)y=m\lambda$ (d) $\left(\sqrt{3}-\sqrt{2}\right)x+\left(1-\sqrt{2}\right)y=(2$

IITJAM 2021

Ans: a

Solution: $\phi_1=\frac{k_0}{2}\left(\sqrt{3x}+y\right)-\omega t$, $\phi_2=\frac{k_0}{\sqrt{2}}(x+y)-\omega t$

$$\Delta\phi=\phi_1-\phi_2=\frac{k_0}{2}\left[\sqrt{3}x+y-\sqrt{2}x-\sqrt{2y}\right]=\frac{k_0}{2}\left[\left(\sqrt{3}-\sqrt{2}\right)x+\left(1-\sqrt{2}\right)y\right]$$

For maxima: $\Delta\phi=2m\pi$

$$\frac{k_0}{2}\left[\left(\sqrt{3}-\sqrt{2}\right)x+\left(1-\sqrt{2}\right)y\right]=2m\pi$$

$$\left(\sqrt{3}-\sqrt{2}\right)x+\left(1-\sqrt{2}\right)y=\frac{4m\pi}{2\pi/\lambda}=2m\lambda$$

3. A thin film of alcohol is spread over a surface. When light from a tuneable source is incident normally, the intensity of reflected light at the detector is maximum for λ =640nm and minimum for 512nm . Taking the refractive index of alcohol to be

λ = 1.36 for both the given wavelengths, the minimum thickness of the film would be __________ nm (Round off to two decimal places).

IITJAM 2021

Ans. : 470.58 nm

$air\,(\mu_a = 1)$

$alcohol\,(\mu_{al} = 1.36)$

$surface\,(\mu_I)$

Condition of maxima

$2\mu_I t = n\lambda_1$ (1) $(\lambda = 640nm)$

Condition of minima

$2\mu_I t = (2m+1)\lambda_2$ (2) $(\lambda_2 = 512nm)$

$$\frac{n}{\left(m+\frac{1}{2}\right)} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{512}{640} = \frac{4}{5} \Rightarrow \frac{2n}{2m+1} = \frac{2\cdot(2)}{2(2)+1} \qquad \Rightarrow n = m = 2$$

From equation (i)

$$2\times1.36\times t = 2(640nm) \Rightarrow t = \frac{(2\times640)}{2\times1.36}nm \qquad \Rightarrow t = 470.58nm$$

Solution:

4. An experiment with a Michelson interferometer is performed in vacuum using a laser of wavelength 610nm. One of the beams of the interferometer passes through a small glass cavity 1.3cm long. After the cavity is completely filled with a medium of refractive index n, 472 dark fringes are counted to move past a reference line. Given that the speed of light is $3 \times 10^8 m/s$,

the value of n is

IITJAM 2021

a) 1.01 b)1.04 c)1.06 d)1.10

Ans:a)

Sol: Change in optical path $\Delta x = m\lambda \Longrightarrow (n-1)t = m\lambda$

$n - 1 = \frac{n\lambda}{2t} = \frac{472\times610\times10^{-9}}{2\times1.3\times10^{-2}}$ => $n - 1 = 0.011 \Longrightarrow n = 1.011$

5. A collimated beam of laser light of wavelength 514 nm is normally incident on a smooth glass slab placed in air. Given the refractive indices of glass and air are 1.47 and 1.0, respectively, the percentage of light intensity reflected back is IITJAM 2020

(a) 0 (b) 4.0 (c) 3.6 (d) 4.2

Ans. : (c)

Solution: $R = \left(\frac{n_1-n_2}{n_1+n_2}\right)^2 = (\frac{1-1.47}{1+1.47})$ = 0.036 =3.6%

6. Consider a thin bi-convex lens of relative refractive index$n = 1.5$. The radius of curvature of one surface of the lens is twice that of the other. The magnitude of larger radius of curvature in units of the focal length of the lens is _________ (Round off to 1 decimal place) IITJAM 2020

a) 1 b) 1.5 c)1.3 d) 1.6

Ans: b

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) => \frac{1}{f} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{-2R}\right)$$

$$= 0.5\,(\frac{1}{R} + \frac{1}{2R})$$

□ $\frac{1}{f} = \frac{0.5 \times 3}{2R}$ => $4R = 3f$ =>$2R = \frac{3f}{2} = 1.5R$

7. The intensity of the primary maximum in a two-slit interference pattern is given by $I_2$and the intensity of the primary maximum in a three-slit interference pattern is given by I_3 . Assuming the far-field approximation, same slit parameters and intensity of the incident light in both the *cases, $I_2$and I_3 are related as

IITJAM 2020

(a) $I_2 = \frac{3}{2} I_3$ (b) $I_2 = \frac{9}{4} I_3$ (c) $I_2 = \frac{2}{3} I_3$ (d) $I_2 = \frac{4}{9} I_3$

Ans. : (d)

Solution: For two slits, $I_2 = (a + a)^2 = 4a^2$

For three slits, $I_2 = (a + a + a)^2 = 9a^2$

□ $I_2 = \frac{4}{9} I_3$

8. In Young's double slit interference arrangement, introduction of a thin transparent glass plate of thickness t, in the path of one of the beams, has resulted in a shift of 0.2 cm in the central bright fringe. It is given that the distance between the two slits is 0.1 cm, the distance between the source plane and image plane is 50 cm, the wavelength of the light is 630 nm and the refractive index of 'glass is 1.5. What is the thickness of the thin glass plate?

A. 0.02 cm B. 0.002 cm C. 0.0008 cm D. 0.004 cm

HCU 2021

Ans: c

Sol: We have the displacement of nth maxima by introducing a sheet of thickness t, is

S = $\frac{D}{2d}(\mu - 1)t$ => 0.2 = $\frac{50}{0.1}(1.5 - 1)t$ => t = 0.0008

(Note : Here S does not depends on wavelength and order of the spectrum)

9. Three sinusoidal waves have the same frequency with amplitude A, A/2 and A/3 while their phase angles are $0, \frac{\pi}{2}, and\ \pi$ respectively. The amplitude of the resultant wave is

a) $\frac{11A}{6}$ b) $\frac{2A}{3}$ c) $\frac{5A}{6}$ d) $\frac{7A}{6}$

Ans: c

Solution: $y_1 = A\sin(\omega t + 0)$, $y_2 = \frac{A}{2}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$, $y_3 = \frac{A}{3}\sin(\omega t + \pi)$

Hence, $y = y_1 + y_2 + y_3 = A\sin\omega t + \frac{A}{2}\cos\omega t - \frac{A}{3}\sin\omega t = \frac{2A}{3}\sin\omega t + \frac{A}{2}c$

$$A' = \sqrt{\left(\frac{2A}{3}\right)^2 + \left(\frac{A}{2}\right)^2} = \sqrt{\frac{4A^2}{9} + \frac{A^2}{4}} = \sqrt{\frac{25A^2}{36}} = \frac{5A}{6}$$

10. A thin air film of thickness d is formed in a glass medium. For normal incidence, the condition for constructive interference in the reflected beam is(λ *is wavelength and m is integer*)

a) $2d = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$ b) $2d = m\lambda$ c) $2d = (m-1)\lambda$ d) $2\lambda = \left(m - \frac{1}{2}\right)d$

Ans: a

Solution: For constructive interference,

$$2\mu d\cos\theta = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda \text{, where } m = 1, 2, 3\ldots\ldots$$

for thin airfilm $(\mu = 1)$ and normal incidence $(\theta = 0^0)$

$$2d = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

11. Two beams of light in the visible range (400 nm – 700 nm) interfere with each other at a point. The optical path difference between them is 5000 nm. Which of the following wavelengths will interfere constructively at the given point?

a) 416.67 nm b) 555.55 nm c) 625 nm d) 666.66

IIT JAM 2020

Ans: a, b and c

Solution: For constructive interference , Phase difference = $2n\pi$

We know, Phase difference = $(\frac{2\pi}{\lambda})$Path difference

- $2n\pi = (\frac{2\pi}{\lambda})$ X 5000
- $\lambda = \frac{5000}{n}$,
- For n= 8 , $\lambda = 625\ nm$; For n= 9 , $\lambda = 555.55\ nm$
- For n= 10 , $\lambda = 500 nm$; For n= 11 , $\lambda = 454.5\ nm$
- For n= 12 , $\lambda = 416.67\ nm$

MCQs

1. Two coherent sources whose intensity ratio is 81:1 produce interference fringes. The ratio of maximum intensity to minimum intensity

   a) 16/25 b)25/16 c)5/4 d)4/5

AKNU 2020

Ans:

2. Colour of thin films is due to interference of light wave. This interference is due to

   a) Refraction b) Division of wave front c) Division of amplitude d)both b&c

AUCET 2020

Ans:

3. In the case of Newton rings by reflected light, the diameter(D) of the bright ring is proportional to

   a) D$\propto \sqrt{n}$ b) D$\propto \sqrt{2n} - 1$ c) D$\propto 2n - 1$ d) D$\propto n$

AUCET 2020

Ans:

4. In Young' double slit experiment all fringes are of

   a) Different widths b)equal width c) Both can exist d)We can not say

Ans: b

5. The width of Newton's rings decreases from the centre due to

a) Increase in thickness of air film from centre b) extended source

b) Plan lower surface d) Monochromatic light

Ans: a

6. To get bright ring in Newton's ring experiment, the distance between flat surface and curved convex surface equals to (λ is wavelength of light used)

a) $\lambda/4$ b) $\lambda/2$ c) λ d) 2λ

Ans: b

7. In Young's double slit experiment, the openings of two slits are related as

a)Different and are greater than $\lambda/2$ b) Same and are greater than $\lambda/2$

c)Same and are less than $\lambda/2$ d) Different and are less than $\lambda/2$

Ans: c

8. The condition for visibility to get clear fringe pattern in the interference of the light waves

Is

a) The interfering sources must be near enough
b) The slit width must be high
c) The wavelength should be low
d) All

Ans: a

9. Study of reflection and refraction comes under which of the following branch

a) Wave Optics b) Ray Optics c)Physical Optics d) Quantum Optics

Ans: b

10. For two different light sources, we might not directly sense interference because

    a) They are in Phase during a period longer than the response time of our eye

    b) They are out of Phase during a period longer than the response time of our eye

    c) They are in Phase during a period shorter than the response time of our eye

    d) None of above

Ans: a

11. A collimated white light source illuminates the slits of a double slit interference setup and forms the interference pattern on a screen. If one slit is covered with a blue filter, which one of the following statements is correct?

(a) No interference pattern is observed after the slit is covered with the blue filter

(b) Interference pattern remains unchanged with and without the blue filter

(c) A blue interference pattern is observed

(d) The central maximum is blue with coloured higher order maxima

Ans. : (c)

12. The refractive index n of the entire environment around a double slit interference setup is changed from 1 n to 2 n . Which one of the following statements is correct about the change in the interference pattern?

(a) The fringe pattern disappears

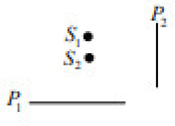
(b) The central bright maximum turns dark, i.e. becomes a minimum

(c) Fringe width of the pattern increases by a factor 2

(d) Fringe width of the pattern decreases by a factor 2

Ans. : (d)

13. Consider two coherent point sources (S_1 and S_2) separated by a small distance along a vertical line and two screens P1 and P2 as shown in Figure.



Which one of the choices represents the shapes of the interference fringes at the central regions on the screens?

(a) Circular on P1 and straight line on P2

(b) Circular on P1 and circular on P2

(c) Straight lines on P1 and straight lines on P2

(d) Straight lines on P1 and circular on P2

Grade your understanding

Grade your understanding

1. We can directly sense interference effect created by separated independent LASER sources [ ]
2. Young's double slit experiment is the first evidence for the wave nature of light [ ]
3. To get sharp interference fringes , we need a moderately high frequency light source [ ]
4. We can get diffraction without interference effect but We cannot get interference without diffraction effect [ ]
5. Division of wave front needs an extended source [ ]
6. When the wave reflects on a rarer medium, no phase change occurs [ ]
7. The true path difference in thin films is nλ for constructive interference in all cases [ ]
8. Wedge method needs monochromatic light [ ]
9. The thickness of a fringe gives its fringe width [ ]
10. A thin air film enclosed between a Plano-concave lens and a plane glass plate, can also form interference fringes [ ]

11 Fringe pattern in reflection and refraction in thin films are complimentary to each other [ ]

12 If we introduce a thin glass in the path of one of interfering beams in Young's double slit experiment, the fringe width will be changed [ ]

Check: 1. Yes 2. No 3. Yes 4.No 5.Yes 6. Yes 7.Yes 8.No 9.Yes 10.Yes 11.Yes 12. No

Glossary

Glossary	
Fringe	A band of contrasting brightness or darkness produced by Interference/diffraction
Biprism	A thin single prism with one of its angles 179^0 and other two of 0.5^0
Constructive	To be Combined
Destructive	To be Cancel out
Extended source	A source of angular size greater than the resolution of the instrument used to observe it
Fringe width	The distance between any two consecutive dark or bright fringes
Fringe Order	A number denoting the additional bright spots on either side of central maxima
Grazing angle	The angle at which the ray 'skip' on the reflecting surface
Interfere	Interact
Interferometer	A device(Meter) that extracts information from interference.Also it can produce the interference pattern
Monochromatic light	Single coloured light having single frequency

Oscillating Intensity	
Pattern	A repeated design
Path difference	Difference between two waves in terms of distance they travel or linear position
Phase difference	Difference between two waves in terms of angular position
Rarer medium	Medium with lesser refractive index when compared with other medium
Radius of curvature	The radius of a circle which fits the given curve
Thin film	A layer of material ranging from nanometer to several micrometers
Virtual source	A light source that do not exist in reality but light rays seems to be come from it
Wave front	Locus of all points having same phase in the field of optical disturbance
Wedge	A triangular shape piece of wood/glass that hold objects between its two inclined faces

UNIT-2

DIFFRACTION

డిఫ్రాక్షన్

CHAPTER 2

డైఫ్రాక్షన్

శిక్షణ లక్ష్యాలు

ఈ అధ్యాయంలో విద్యార్థులు విషయాలు నేర్చుకుంటారు

1. రెండు రకాల డిఫ్రాక్షన్ మరియు వాటి వ్యత్యాసం.

2. సింగిల్ స్లిట్ డిఫ్రాక్షన్, డిఫ్రాక్షన్ గ్రేటింగ్ మరియు దాని వినియోగం.

3. ఫ్రెనెల్ సగం కాలం మండలాలు.

4. ఫ్రెనెల్ యొక్క జోన్ ప్లేట్ మరియు కుంభాకార లెన్స్‌తో దాని పోలిక.

అభ్యసన ఫలితాలు

అధ్యాయం ముగిసే సమయానికి, విద్యార్థులు ఈ క్రిందవి చేయగలరు

1 వివిధ రకాల డిఫ్రాక్షన్‌లను గుర్తించగలరు.

2. జోన్ ప్లేట్ యొక్క వివిధ డిఫ్రాక్షన్ నమూనాలు మరియు పనిని వివరించగలరు.

3. కాంతి మూలాల తరంగదైర్ఘ్యాన్ని కొలవడానికి డిఫ్రాక్షన్ దృగ్విషయాన్ని వర్తింపజేయగలరు.

4. వివిధ డిఫ్రాక్షన్ రకాలు మరియు డిఫ్రాక్షన్ నమూనాలను వర్గీకరించగలరు.

5. అప్లికేషన్ ఆధారంగా తగిన డిఫ్రాక్షన్ టెక్నిక్‌ని ఎంచుకోగలరు.

6. పదార్థాల విశ్లేషణ విశ్లేషణ కోసం ప్రోటోటైప్ నమూనాలను అభివృద్ధి చేయగలరు..

DIFFRACTION

CHAPTER 2

Syllabus

Introduction, Types of diffraction: Fresnel and Fraunhoffer diffractions, Distinction between Fresnel and Fraunhoffer diffraction, Fraunhoffer diffraction at a single slit, Plane diffraction grating, Determination of wavelength of light using diffraction grating, Resolving power of grating, Fresnel's half period zones, Explanation of rectilinear propagation of light, Zone plate, comparison of zone plate with convex lens.

Learning Objectives

In this chapter students would learn about

1. Two types of diffraction and their distinction.
2. Single slit diffraction, diffraction grating and its usage.
3. Fresnel half period zones.
4. Fresnel's zone plate and its comparison with convex lens.

Learning Outcomes

By the end of the chapter, student would be able to

1. Identify various types of diffraction.
2. Describe various diffraction patterns and working of zone plate.
3. Apply diffraction phenomenon to measure the wavelength of light sources.
4. Classify various diffraction types and diffraction patterns.
5. Select suitable diffraction technique based on the application.
6. Develop prototype models for diffraction analysis of materials.

వివిధ ప్రోగ్రాం లకు చెందిన నిర్దిష్ట ఫలితాలు మరియు భవిష్యత్ దిశానిర్దేశకాలు

ఈ అధ్యాయం ముగిసే సమయానికి నిర్దిష్ట ప్రోగ్రామ్‌ల నుండి విద్యార్థులు క్రింది రంగాలలో కాంతి డిఫ్రాక్షన్ పాత్రను గుర్తించగలరు.

ఎ) ఫిజిక్స్: లేజర్ డిఫ్రాక్షన్ టెక్నిక్స్ మెటీరియల్ మానిప్యులేషన్ మరియు మెటీరియల్ క్యారెక్టరైజేషన్ ప్రయోజనాల కోసం ఉపయోగించబడతాయి. ఫ్రెనెల్ లెన్సులు కాంపాక్ట్ ఆప్టికల్ సిస్టమ్స్ కోసం ఉపయోగించబడతాయి.

బి) కెమిస్ట్రీ: ద్రవ రసాయన నమూనాల వర్గీకరణ కోసం డిఫ్రాక్టోమీటర్లు ఉపయోగించబడతాయి.

సి) భూగర్భ శాస్త్రం: వివిధ భూకంప సంకేతాల యొక్క డిఫ్రాక్షన్ విశ్లేషణ ఇంటర్ఫెరెన్స్ విశ్లేషణతో పాటు మరింత సమాచారంగా ఉంటుంది. జియోఫిజికల్ డిఫ్రాక్షన్ టోమోగ్రఫీ జియోఫిజికల్ నిర్మాణాలను అధ్యయనం చేస్తుంది.

d) ఎలక్ట్రానిక్స్: ఆప్టికల్ ఫైబర్ కమ్యూనికేషన్‌లో, వేవ్‌లెంగ్త్ డివిజన్ మల్టీప్లెక్సింగ్ (WDM) టెక్నాలజీలో వివిధ తరంగదైర్ఘ్యాలతో కూడిన బహుళ తరంగాలను కలపాలి మరియు ఆప్టికల్ ఫైబర్ ద్వారా పంపాలి. ప్రయోజనం కోసం డిఫ్రాక్షన్ గ్రేటింగ్‌లు ఉపయోగించబడతాయి. గ్రేటింగ్ లైట్ వాల్వ్ (GLV), ప్రొజెక్టర్లలో ఉపయోగించే మైక్రో ప్రొజెక్షన్ టెక్నాలజీ. వారు మైక్రో-ఆప్టో-ఎలక్ట్రో-మెకానికల్ సిస్టమ్స్ (MOEMS)ని ఉపయోగిస్తారు.

ఇ) కంప్యూటర్లు: కంప్యూటేషనల్ హోలోగ్రఫీ అనేది గణనపరంగా హోలోగ్రాఫిక్ చిత్రాల నిర్మాణం మరియు పునర్నిర్మాణం కోసం ఫ్రెనెల్ డిఫ్రాక్షన్ డేటాను ఉపయోగించే ఒక శాఖ. వివిధ కంప్యూటెడ్ టోమోగ్రఫీ డేటాకు డిఫ్రాక్షన్ విశ్లేషణ అవసరం.

f) REM: సోలార్ ప్యానెల్ ఉపరితలాలు గరిష్ట సామర్థ్యాన్ని సాధించడానికి గ్రేటింగ్‌ల ఆకారంలో రూపొందించబడ్డాయి.

g) గణాంకాలు: నాన్‌లీనియర్ లేజర్ డిఫ్రాక్షన్ సిస్టమ్‌ల ద్వారా సేకరించబడిన వివిధ డేటా యొక్క గణాంక విశ్లేషణ సాంప్రదాయిక వివరణల పద్ధతులు విఫలమైనప్పుడు డేటా యొక్క వివరణ కోసం ఒక మార్గాన్ని అందిస్తుంది. గణాంక వివరణలు AI సిస్టమ్ శిక్షణల కోసం కూడా ఉపయోగించవచ్చు.

సుపరిచితం నుండి అపరిచితం వరకు

మీ 12వ తరగతిలో, మీరు డిఫ్రాక్షన్ యొక్క దృగ్విషయం, సింగిల్ స్లిట్ డిఫ్రాక్షన్ యొక్క సరళీకృత విశ్లేషణ, డబుల్ స్లిట్ డిఫ్రాక్షన్, డిఫ్రాక్షన్ మ్యాగ్జిమా కోసం బిరీ కండిషన్ మరియు రిజాల్వింగ్ పవర్ భావన గురించి అధ్యయనం చేసి ఉండవచ్చు. ఈ అధ్యాయంలో మీరు సింగిల్ స్లిట్ డిఫ్రాక్షన్, ఫ్రెనెల్ మరియు ఫ్రాన్‌హోఫర్ డిఫ్రాక్షన్, డిఫ్రాక్షన్ గ్రేటింగ్ మరియు జోన్ ప్లేట్ కాన్సెప్ట్‌ల యొక్క వివరణాత్మక విశ్లేషణను చూడవచ్చు.

Course Outcomes specific to program and Future directions

By the end of this chapter students from specific programs would be able to identify the role of light diffraction in the following fields.

a) Physics: Laser diffraction techniques are used for material manipulation and material characterization purposes. Fresnel lenses are used for compact optical systems.
b) Chemistry: diffractometers are used for the characterization of liquid chemical samples.
c) Geology: Diffraction analysis of various seismic signals is more informative in addition to the interference analysis. Geophysical diffraction tomography studies the geophysical structures.
d) Electronics: In optical fiber communication, wavelength division multiplexing (WDM) technology where multiple waves with different wavelengths are to be mixed and sent through the optical fiber. For the purpose diffraction gratings are used. Grating Light Valve (GLV), a micro projection technology used in projectors. They use micro-opto-electro-mechanical systems (MOEMS).
e) Computers: Computational holography is a branch that uses Fresnel diffraction data for construction and reconstruction of holographic images computationally. Various computed tomography data requires diffraction analysis.
f) REM: Solar panel surfaces are designed in the shape of gratings in order to achieve maximum efficiency.
g) Statistics: Statistical analysis of various data collected by nonlinear laser diffraction systems gives a way out for interpretation of data where conventional methods of interpretations fail. The statistical interpretations may also be used for AI system trainings.

Familiar to Unfamiliar

In your 12th class, you might have studied about the phenomenon of diffraction, simplified analysis of single slit diffraction, double slit diffraction, airy condition for diffraction maxima and the concept of resolving power. In this chapter you will come across a detailed analysis of single slit diffraction, Fresnel and Fraunhoffer diffraction, diffraction grating and zone plate concepts.

2.1 పరిచయం

డిఫ్రాక్షన్ అనేది దాని తరంగదైర్ఘ్యంతో పోల్చదగిన పరిమాణంలో ఉన్న అడ్డంకి చుట్టూ కాంతి కిరణాలను వంగడం. అడ్డంకి చుట్టూ యాదృచ్ఛిక దిశలలో ఉద్భవించే కాంతి తరంగాల సూపర్‌పొజిషన్ కారణంగా వంగడం ప్రభావం ఏర్పడుతుంది. తరంగాల సమూహం యొక్క సూపర్‌పొజిషన్ యొక్క గణిత శాస్త్ర అధ్యయనంలో, తరంగాల కదలిక దిశ పరిగణించబడదు, అయితే తరంగాల మధ్య ఫేజ్ తేడాలు మాత్రమే పరిగణనలోకి తీసుకోబడతాయి.

యాంప్లిట్యూడ్స్ యొక్క వెక్టర్ జోడింపు:

n వెక్టర్స్ యొక్క సమితిని పరిగణించండి ప్రతి పొడవు a , స్థిరమైన పౌనఃపున్యం కలిగిన, n కిరణాలను సూచిస్తాయి కానీ ప్రతి ఒక్కటి ఒక δ ఫేజ్ ద్వారా భిన్నంగా ఉంటాయి. ఈ వెక్టర్‌లన్నింటి యొక్క లినియర్ సూపర్ పొజిషన్ నుండి ఏర్పడిన ఫలిత వెక్టర్ దీని ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది,

$$R\cos(\omega t+\alpha)=\cos(\omega t+0\delta)+\cos(\omega t+1\delta)+\cos(\omega t+2\delta)+\cdots+\cos(\omega t+[n-1]\delta)$$

వెక్టర్స్ యొక్క బహుభుజిని చుట్టుముట్టే వ్యాసార్థం .r యొక్క వృత్తాన్ని నిర్మించడం ద్వారా ఫలిత వెక్టార్ యాంప్లిట్యూడ్ మరియు ఫేజ్ ను పొందవచ్చు

$$a=2r\sin\frac{\delta}{2}\Rightarrow r=\frac{a}{2\sin\frac{\delta}{2}}$$

సమద్విబాహు త్రిభుజం ΔOAC నుండి,

$$R=2r\sin\frac{n\delta}{2}=a\;\frac{\sin n\delta/2}{\sin\delta/2}$$

ఫలితంగా ఫేజ్ కోణం ఇవ్వబడింది

$$\alpha=\angle OAB-\angle OAC=\left(90^\circ-\frac{\delta}{2}\right)-\left(90^\circ-\frac{n\delta}{2}\right)=[n-1]\frac{\delta}{2}$$

ఈ విధంగా n వెక్టర్స్ యొక్క సూపర్‌పొజిషన్ ఫలితంగా, స్థిరమైన పౌనఃపున్యం యొక్క ప్రతి ఫలితం, వరుస వెక్టర్‌ల మధ్య ఫేజ్ వ్యత్యాసంతో ఇవ్వబడుతుందిర్

$$R\cos(\omega t+\alpha)=a\;\frac{\sin n\delta/2}{\sin\delta/2}\cos\left[\omega t+(n-1)\frac{\delta}{2}\right]$$

మెజారిటీ టెక్స్ట్ బుక్స్‌లో ఇది అన్-పోలరైజ్డ్ లైట్ వేవ్ లాగా వర్ణించబడింది, ఇది ఒకే బిందువు నుండి అన్ని దిశలలో సూచించే వెక్టర్స్ సమూహంగా సూచించబడుతుంది. అవి ఇచ్చిన కాంతి తరంగంలో విద్యుత్ క్షేత్ర ప్రకంపనల దిశలుగా పరిగణించబడతాయి.

కొన్ని పాఠ్య పుస్తకాలలో, ఒకే చీలిక వద్ద డిఫ్రాక్షన్ యొక్క గణిత పరిచర్యలో, చీలిక నుండి వెలువడే కిరణాలు చూపబడ్డాయి మరియు పైన అందించిన విధంగా వివిధ ఫేజ్ లతో కూడిన తరంగాల వెక్టర్ జోడింపు పరిగణించబడుతుంది.

2.1 Introduction

The diffraction is the bending of light rays around an obstacle of size comparable to its wavelength. The bending effect is due to the superposition of light waves that are emerging in random directions around the obstacle. In the mathematical study of superposition of group of waves, the direction of motion of the waves is not considered but only the phase differences among the waves are taken into account.

Vector addition of amplitudes:

Consider a set of n vectors each of length a, representing n rays of constant frequency but each differing by a phase of δ. The resultant vector formed from a linear combination of all these vectors is given by,

$$R\cos(\omega t+\alpha)=\cos(\omega t+0\delta)+\cos(\omega t+1\delta)+\cos(\omega t+2\delta)+\cdots+\cos(\omega t+[n-1]\delta)$$

The resultant vector amplitude and phase can be obtained by constructing a circle of radius r enclosing the polygon of vectors.

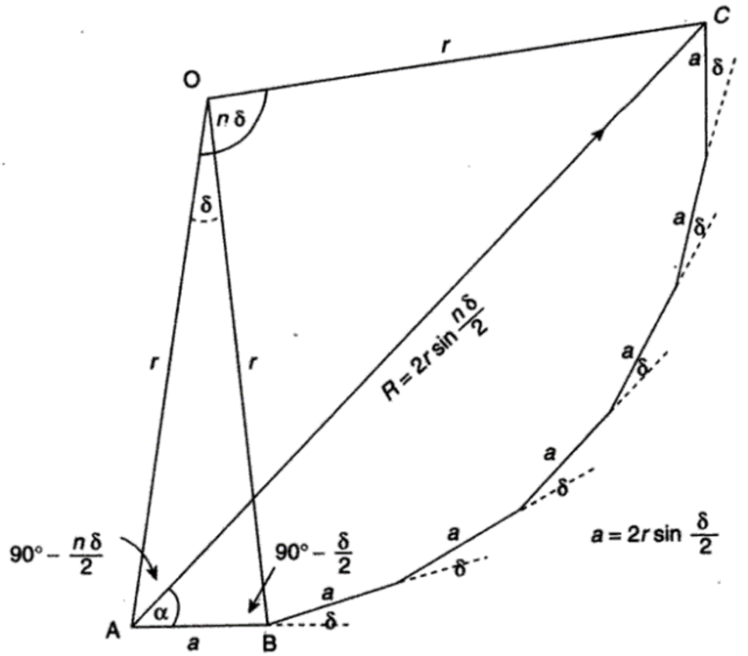


Fig: vector addition of amplitudes.

From the isosceles triangle ΔOAB,

$$a = 2r\sin\frac{\delta}{2} \Rightarrow r = \frac{a}{2\sin\frac{\delta}{2}}$$

From the isosceles triangle ΔOAC,

$$R = 2r\sin\frac{n\delta}{2} = a\,\frac{\sin n\delta/2}{\sin\delta/2}$$

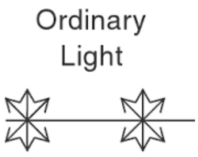
The resultant phase angle is given by

$$\alpha = \angle OAB - \angle OAC = \left(90° - \frac{\delta}{2}\right) - \left(90° - \frac{n\delta}{2}\right) = [n-1]\frac{\delta}{2}$$

Thus the resultant of superposition of n vectors, each of constant frequency, with a phase difference of δ between successive vectors, is given by

$$R\cos(\omega t + \alpha) = a\,\frac{\sin n\delta/2}{\sin\delta/2}\cos\left[\omega t + (n-1)\frac{\delta}{2}\right]$$

In a majority of the text books it was depicted like an un-polarized light wave that can be represented as group of vectors which are pointing in all directions from a single point. They are considered to be the directions of electric field vibrations in the given light wave.



In some of the text books, in the mathematical treatment of the diffraction at a single slit, the rays emerging out of the slit have been shown and a vector addition of waves with different phases has been considered, as presented above.

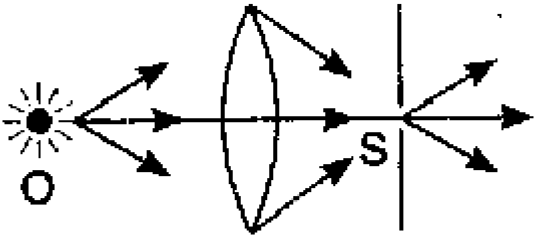


Fig: Diffraction at a single slit.

An immediate question to ask now is: Are the arrows shown above to be considered as light rays or electric field vibrations of the light wave? If they are considered as just light rays, then why do they not spread on the screen uniformly? If they are considered as the electric field vibrations, then are we considering only upper half of vectors to represent the intensity in the upper position? Then how to mathematically represent the vectors superimposing in the downward direction of the slit? In the entire mathematical analysis we are considering a mathematical expression that is obtained by adding the vectors that are oriented gradually along the upward direction and using the same expression to represent the intensity pattern at the bottom portion of the slit. How to understand this discrepancy?

To understand it clearly one must have a clear idea of what a wave front is. By definition, wave front is a locus of points with constant amplitude of light waves.

2.1 Introduction

ఇప్పుడు అడగవలసిన తక్షణ ప్రశ్న ఏమిటంటే: పైన చూపిన బాణాలను కాంతి కిరణాలు లేదా కాంతి తరంగం యొక్క విద్యుత్ క్షేత్ర వైబ్రేషన్‌లుగా పరిగణించాలా? వాటిని కేవలం కాంతి కిరణాలుగా పరిగణిస్తే, అవి తెరపై ఏకరీతిగా ఎందుకు వ్యాపించవు? అవి ఎలక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ వైబ్రేషన్‌లుగా పరిగణించబడితే, ఎగువ స్థానంలో ఉన్న తీవ్రతను సూచించడానికి మనము వెక్టర్స్‌లో ఎగువ సగాన్ని మాత్రమే పరిశీలిస్తున్నామా? అప్పుడు చీలిక యొక్క క్రింది దిశలో సూపర్పోస్ చేసే వెక్టర్లను గణితశాస్త్రంలో ఎలా సూచించాలి? మొత్తం గణిత విశ్లేషణలో మనము క్రమంగా పైకి దిశలో ఉన్న వెక్టర్‌లను జోడించడం ద్వారా పొందిన గణిత వ్యక్తీకరణను పరిశీలిస్తున్నాము మరియు చీలిక యొక్క దిగువ భాగంలో తీవ్రత నమూనాను సూచించడానికి అదే వ్యక్తీకరణను ఉపయోగిస్తాము. ఈ వైరుధ్యాన్ని ఎలా అర్థం చేసుకోవాలి? దీన్ని స్పష్టంగా అర్థం చేసుకోవాలంటే వేవ్ ఫ్రంట్ అంటే ఏమిటో స్పష్టమైన ఆలోచన ఉండాలి. నిర్వచనం ప్రకారం, వేవ్ ఫ్రంట్ అనేది కాంతి తరంగాల స్థిరమైన యాంప్లిట్యూడ్ తో ఉన్న పాయింట్ల లోకస్.

వేవ్ ఫ్రంట్‌ను గీయడానికి, వేర్వేరు తరంగాలపై ఒకే యాంప్లిట్యూడ్ తో పాయింట్లను చేరాలి. అనగా, ప్రక్కనే ఉన్న తరంగాల యొక్క అన్ని శిఖరాలను లేదా ప్రక్కనే ఉన్న తరంగాల అన్ని పతనాలను ఒక వేవ్ ఫ్రంట్‌ను గీయడానికి కలపవచ్చు. అందువల్ల పాయింట్ లైట్ సోర్స్ కోసం, వేవ్ ఫ్రంట్ గోళాకారంగా ఉంటుంది మరియు ఎలక్ట్రికల్ ఫీల్డ్ వైబ్రేషన్‌లు కూడా మొత్తం గోళాన్ని కవర్ చేస్తాయి. మెరుగైన అవగాహన కోసం, పై చిత్రంలో విద్యుత్ క్షేత్ర వైబ్రేషన్‌లు డబుల్ హెడ్డ్ బ్లూ బాణాలుగా చూపబడ్డాయి.

అప్పుడు పైన చూపిన సింగిల్ స్లిట్ డిఫ్రాక్షన్ ప్రయోగంలో, వెక్టర్స్ ఎలక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ వైబ్రేషన్ దిశను సూచిస్తాయా లేదా వేవ్ యొక్క కదలిక దిశను సూచిస్తాయా? కాబట్టి డిఫ్రాక్షన్ అధ్యయనంలో వెక్టర్స్ వేవ్ యొక్క కదలిక దిశను సూచిస్తే, ఒకే దిశలో చలనం కోసం, విద్యుత్ క్షేత్ర కంపనాలు దిగువ చూపిన విధంగా చలన దిశకు లంబంగా మొత్తం తలాన్ని కవర్ చేసే ఏదైనా దిశను కలిగి ఉంటాయి.

అందువల్ల డిఫ్రాక్షన్ అధ్యయనంలో, వెక్టార్ సంజ్ఞామానం కోసం విద్యుత్ క్షేత్ర వైబ్రేషన్ల దిశ పరిగణించబడదని స్పష్టంగా అర్థం చేసుకోవాలి. అప్పుడు అది అల యొక్క కదలిక దిశా? అలా అయితే, గణిత వ్యక్తీకరణలు కొన్ని స్పేస్ భాగాలు మరియు స్పేస్‌లోని ఓరియంటేషన్‌లను సూచించే కొన్ని ఫంక్షన్ లను కలిగి ఉండాలి. కానీ మొత్తం గణిత వ్యక్తీకరణలు సమయం మరియు ఫేజ్ మాత్రమే కలిగి ఉంటాయి. అప్పుడు వేవ్ యొక్క ఫేజ్ లో మార్పు వాస్తవానికి వేవ్ యొక్క స్వభావంలో దేనిని సూచిస్తుంది?

దానిని అర్థం చేసుకోవడానికి, సమయం యొక్క ఫంక్షన్ గా $\sin \omega t$ మరియు $\sin(\omega t+\phi)$, $\phi = 45°$ దానితో కూడిన ప్లాట్‌ను పరిగణించండి.

అందువల్ల సానుకూల ఫేజ్ మార్పు వాస్తవానికి సమయ అక్షం వెంట తరంగాన్ని వెనక్కి లాగుతుంది. అనగా; ఇది వాస్తవానికి మొదటి వేవ్ నుండి $\pi/4$ సమయ గ్యాప్‌తో మూలాల నుండి ప్రారంభమైన తరంగాన్ని సూచిస్తుంది. ఆ విధంగా డిఫ్రాక్షన్ అధ్యయనంలో, మూలం నుండి ఒకే దిశలో కానీ ఒకదానికొకటి ϕ సమయ గ్యాప్‌తో ప్రారంభమైన తరంగాల యొక్క సూపర్‌పొజిషన్‌ను మనము వాస్తవంగా పరిగణిస్తాము. ఇది వివిధ దిశలలో ప్రయాణించే అలల సూపర్‌పొజిషన్ కాదు (???)

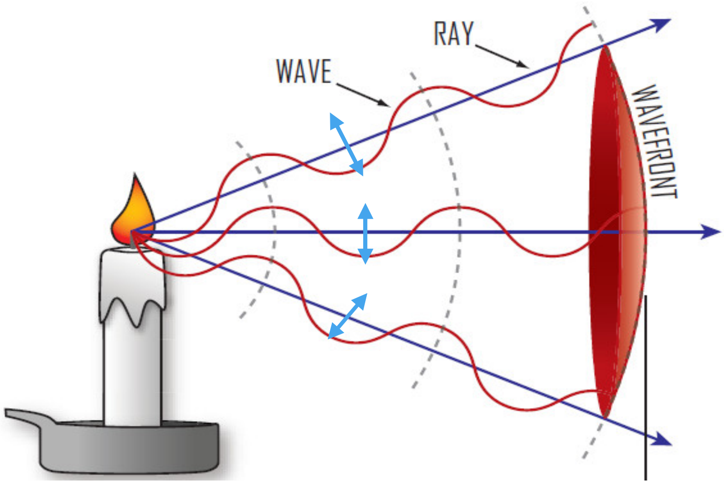
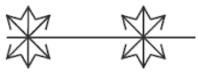


Fig: Wave front.

In order to draw a wave front, one needs to join the points with same amplitude on different waves. i.e., either all the crests of adjacent waves or all the troughs of adjacent waves can be joined to draw a wave front. Thus for a point light source, the wave front is spherical and the electrical field vibrations also will be covering the entire sphere. For better understanding, the electrical field vibrations in the above figure are shown as double headed blue arrows.

Then in the single slit diffraction experiment shown above, do the vectors represent the electric field vibration direction or the direction of motion of the wave? Thus if the vectors in diffraction study represent the direction of motion of the wave, for a single direction of motion, the electric field vibrations can have any direction covering the entire plane perpendicular to the direction of motion as shown below.



Thus one must understand that in the study of diffraction, it is clear that the direction of electric field vibrations is not considered for

సూపర్‌పొజిషన్ తర్వాత, ఫలిత తరంగం యొక్క యాంప్లిట్యూడ్ స్థిరంగా ఉండదు కానీ δ యొక్క ఫంక్షన్ గా ఉంటుంది. అనగా; ఫలిత యాంప్లిట్యూడ్ ఫేజ్ యొక్క ఫంక్షన్ మాత్రమే. సమయం లేదా స్థలం యొక్క ఫంక్షన్ గా తీవ్రత మారుతుందని దీని అర్థమా ? మనం తీవ్రతలో మార్పును సమయం యొక్క ఫంక్షన్ గా ఎందుకు చూడలేము కాని దానిని స్థలం యొక్క ఫంక్షన్ గా మాత్రమే ఎందుకు చూస్తున్నాము? మరో మాటలో చెప్పాలంటే, స్క్రీన్‌పై ఉన్న స్పేస్ కోఆర్డినేట్‌లతో ఫేజ్ సమాచారంలోని వైవిధ్యాలను ఎలా కనెక్ట్ చేయాలి?

దానిని అర్థం చేసుకోవడానికి, వస్తువు యొక్క వృత్తాకార కదలిక సమయంలో వృత్తం యొక్క వ్యాసంపై చిత్రం యొక్క కదలిక కారణంగా ఉత్పన్నమయ్యే తరంగాన్ని పరిగణించండి.

OA నుండి OBకి కదులుతున్న వస్తువును పరిగణించండి. అది x అనే దూరం కదిలే లోపు ϕ అనే కోణాన్ని వృత్త కేంద్రం వద్ద చేస్తుంది. వస్తువు ఒక 2π కోణాన్ని స్వీప్ చేస్తే, ఆ సమయానికి, వస్తువు దూరం ద్వారా λ కదులుతుంది. అప్పుడు ϕ మరియు x సంబంధం కలిగి ఉంటాయి

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda}x \quad or \quad x = \frac{\lambda}{2\pi}\phi$$

సిస్టమ్ టైమ్ డొమైన్‌లో అధ్యయనం చేయబడితే, ఏకపక్ష దూరం x ప్రయాణించడానికి పట్టే సమయాన్ని t మరియు మొత్తం కాల వ్యవధి T గా భావించండి. అప్పుడు t మరియు ϕ సంబంధం కలిగి ఉంటాయి

$$\phi = \frac{2\pi}{T}t \quad or \quad t = \frac{T}{2\pi}\phi$$

ఈ విధంగా ఒక ఫేజ్ మార్పు ϕ సమయంలో వేవ్ ప్రయాణించిన దూరాన్ని x పొందవచ్చు.

పాయింట్ మూలం నుండి ఉద్భవించే రెండు తరంగాల మధ్య విన్యాసాన్ని కోణీయ స్థానభ్రంశం ϕ పరిగణించండి. అప్పుడు స్క్రీన్‌పై పరిశీలకుడు తరలించిన అదనపు దూరానికి x సంబంధించి ϕ ఉంటుంది

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda}x \quad or \quad x = \frac{\lambda}{2\pi}\phi.$$

ఈ విధంగా ఒకే వేవ్ రైలులో సమయం ఆలస్యమైన తరంగాలను వేర్వేరు దిశలలో ప్రయాణించే వేవ్ రైళ్లతో పోల్చవచ్చు. ఇది వేవ్ ఫ్రంట్‌లోని ద్వితీయ వేవ్‌లెట్ల సందర్భం. అనగా; కాంతి కిరణాలు దీర్ఘచతురస్రాకారంలో కొంత దూరం ప్రయాణించిన తర్వాత కూడా, ఇచ్చిన వేవ్ ట్రైన్‌లో వాటికి సమయం ఆలస్యమైన తరంగాలు ఉంటే, అవి తక్షణమే సమానమైన కోణీయ మార్పుతో కిరణాన్ని ఉత్పత్తి చేయగలవు. ఈ విధంగా ముందుకు కదిలే కాంతి కిరణం ఇతర దిశలలో కిరణాలను కూడా ఉత్పత్తి చేస్తుంది.

https://www.geogebra.org/m/aCduUPv4

vector notation. Then is it the direction of motion of the wave? If that is the case, the mathematical expressions should have some space components and some functions that represent the orientations in space. But the entire mathematical expressions contain only time and phase. Then what does a change in phase of the wave actually represent in the nature of the wave?

To understand that, consider a plot of $\sin \omega t$ and $\sin(\omega t + \phi)$ with $\phi = 45°$ as a function of time.

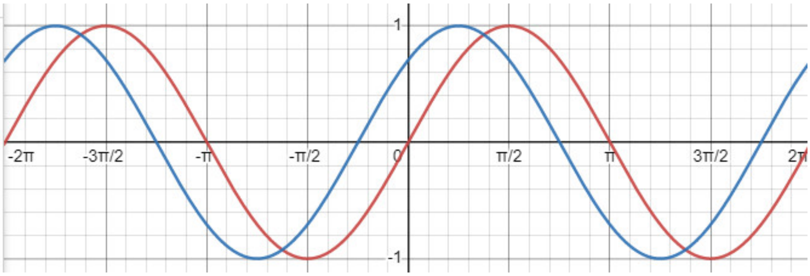


Fig: sin ωt and sin$(\omega t + \pi/4)$ Vs. t.

Thus a positive phase shift actually pulls back the wave along the time axis. i.e.; it actually represents a wave that started from the sources with a time gap of $\pi/4$ from the first wave. Thus in the study of diffraction, we actually consider the superposition of waves that have started from the source in the same direction but with a time gap of ϕ from each other. It is not the superposition of waves that are travelling in different directions?

After superposition, the amplitude of the resultant wave is not a constant but a function of δ in the above derivation. i.e.; the resultant amplitude is a function of phase only. Does it mean the intensity varies as a function of time or space? Why can't we see a change in intensity as a function of time but only see it as a function of space? In other words, how to connect the variations in phase information with the space coordinates on the screen?

To understand that, consider the wave generated due to the motion of the image on the diameter of the circle during the circular motion of an object.

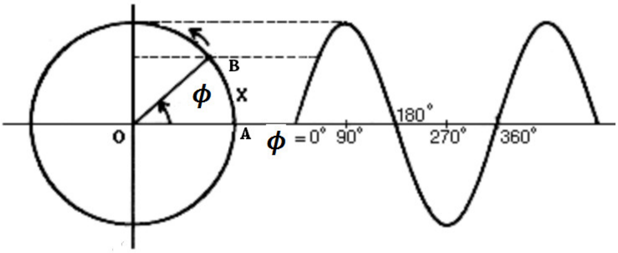


Fig: Wave generated in Simple harmonic motion.

Consider the object moving from OA to OB by a distance of x and let the angle swept at the origin be ϕ. If the object sweeps an angle of 2π, by that time, the object moves by a distance of λ. Then ϕ and x are related by

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda}x \quad or \quad x = \frac{\lambda}{2\pi}\phi$$

If the system is studied in time domain, then let t be the time taken to travel the arbitrary distance x and T be the total time period. Then t and ϕ are related by

$$\phi = \frac{2\pi}{T}t \quad or \quad t = \frac{T}{2\pi}\phi$$

Thus one can obtain the distance x travelled by the wave during a phase change of ϕ.

Consider an angular displacement of ϕ in the orientation between two waves originating from a point source. Then the extra distance x moved by the observer on the screen can be related to ϕ as

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda}x \quad or \quad x = \frac{\lambda}{2\pi}\phi.$$

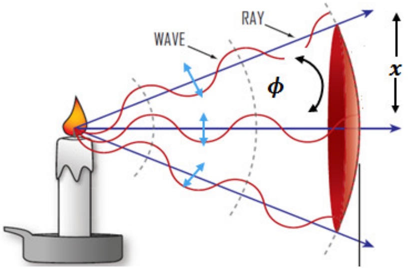


Fig: Phase difference and Path difference.

Thus one can relate the time delayed waves in a single wave train to the wave trains travelling in different orientations. This is the case of secondary wavelets on the wave front. i.e.; even after the light rays travel rectilinearly for some distance, if they have time delayed waves in the given wave train, they can readily generate a ray with an equivalent angular shift. Thus a forward moving light ray can also produce rays oriented in other directions.

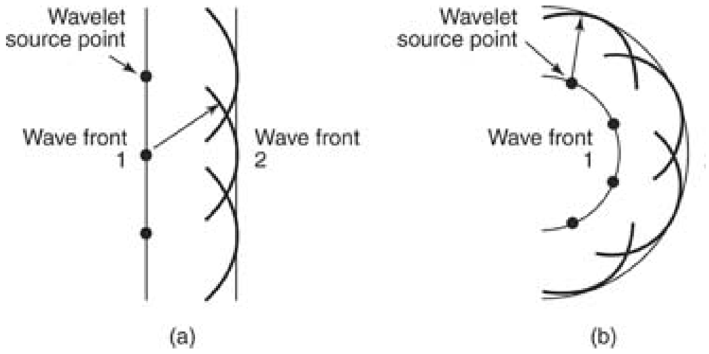


Fig: Secondary wave front.

In other words one can say that the wave trains originating from the source with a time delay in a same direction are equivalent to the wave trains originating at the same time with an angular shift. This concept of secondary wave front revolutionized the entire phase of wave optics. The relation between the time delay and spatial tilt is given by

$$\phi = \frac{2\pi}{T}t \quad or \quad t = \frac{T}{2\pi}\phi$$

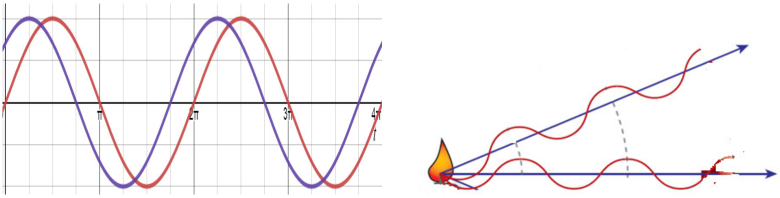


Fig: Time delayed and spatially tilted wave trains are equivalent.

In the rest of the chapter for all mathematical purposes we consider time shifted waves and impart the end results to spatially tilted waves.

2.2 డిఫ్రాక్షన్ రకాలు

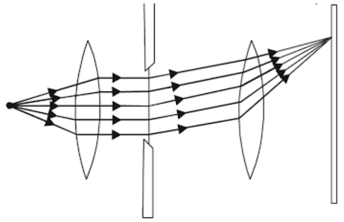
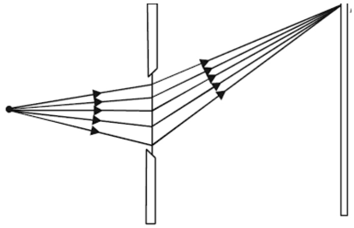
మరో మాటలో చెప్పాలంటే, ఒకే దిశలో సమయ ఆలస్యంతో మూలం నుండి ఉద్భవించే వేవ్ రైళ్లు కోణీయ మార్పుతో అదే సమయంలో ఉద్భవించే వేవ్ రైళ్లకు సమానం అని చెప్పవచ్చు. సెకండరీ వేవ్ ఫ్రంట్ యొక్క ఈ భావన వేవ్ ఆప్టిక్స్ యొక్క మొత్తం ఫేజ్ ను విప్లవాత్మకంగా మార్చింది. సమయం ఆలస్యం మరియు ప్రాదేశిక వంపు మధ్య సంబంధం ద్వారా ఇవ్వబడింది

$$\phi = \frac{2\pi}{T}t \quad or \quad t = \frac{T}{2\pi}\phi$$

అన్ని గణిత ప్రయోజనాల కోసం మిగిలిన అధ్యాయంలో మనము సమయం మారిన తరంగాలను పరిగణిస్తాము మరియు అంతిమ ఫలితాలను ప్రాదేశికంగా వంపుతిరిగిన తరంగాలకు ఆపాదిస్తాము.

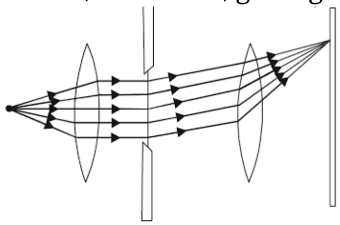
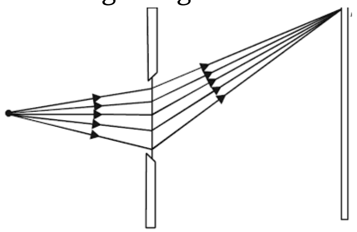
2.2 డిఫ్రాక్షన్ రకాలు

డిఫ్రాక్షన్‌లో రెండు రకాలు ఉన్నాయి. వాటిలో ఒకటి సౌర వర్ణపటాన్ని అధ్యయనం చేస్తున్నప్పుడు గమనించిన ఫ్రాన్‌హోఫర్ డిఫ్రాక్షన్. మరొకటి ప్రయోగశాల వాతావరణంలో గమనించిన ఫ్రెస్నెల్ డిఫ్రాక్షన్. వాటి మధ్య ప్రధాన వ్యత్యాసాలు క్రింది విధంగా ఉన్నాయి.

ఫ్రాన్‌హోఫర్ డిఫ్రాక్షన్	ఫ్రెస్నెల్ డిఫ్రాక్షన్
1. ఇక్కడ మూలం మరియు స్క్రీన్ డిఫ్రాక్టింగ్ ఎలిమెంట్ నుండి అనంతమైన దూరంలో ఉన్నాయి.	1. ఇక్కడ మూలం మరియు స్క్రీన్ డిఫ్రాక్టింగ్ ఎలిమెంట్ నుండి పరిమిత దూరంలో ఉంటాయి.
2. ప్రయోగశాలలో ఈ దృగ్విషయాన్ని అధ్యయనం చేయడానికి లెన్సులు అవసరం.	2. ప్రయోగశాలలో ఈ దృగ్విషయాన్ని అధ్యయనం చేయడానికి లెన్స్‌లు అవసరం లేదు.
3. పతన వేవ్ ఫ్రంట్ చదునుగా ఉంటుంది.	3. పతన వేవ్ ఫ్రంట్ గోళాకారంగా లేదా స్థూపాకారంగా ఉండవచ్చు.
4. ఈ డిఫ్రాక్షన్ దృగ్విషయం యొక్క గణిత అధ్యయనానికి ఉజ్జాయింపులు అవసరం లేదు.	4. ఈ డిఫ్రాక్షన్ దృగ్విషయం యొక్క గణిత అధ్యయనానికి ఉజ్జాయింపులు అవసరం.
5. ఉదా: సింగిల్ స్లిట్ వద్ద డిఫ్రాక్షన్, డబుల్ స్లిట్, గ్రేటింగ్. 	5. ఉదా: వృత్తాకార ఎపర్చరు, వృత్తాకార వస్తువు మరియు సరళ అంచు వద్ద డిఫ్రాక్షన్ . 

2.2 Types of Diffraction

There are two types of diffraction. One of them is the Fraunhoffe**r** diffraction observed while studying sola**r** spectrum. Other one is Fresnel diffraction observed in laboratory environment. The main distinctions between them are as follows.

Fraunhoffer diffraction	**Fresnel diffraction**
1. Here the source and screen are at infinite distance from the diffracting element. 2. Lenses are necessary to study this phenomenon in the laboratory. 3. The incident wave front is plane. 4. Mathematical study of this diffraction phenomenon needs no approximations. 5. Eg: Diffraction at Single slit, double slit, grating. 	1. Here the source and screen are at finite distance from the diffracting element. 2. No lenses are needed to study this phenomenon in the laboratory. 3. The incident wave front may be spherical or cylindrical. 4. Mathematical study of this diffraction phenomenon needs approximations. 5. Eg: Diffraction at circular aperture, circular object and straight edge. 

We next list the major distinguishing features between interference and diffraction, both of which result from a superposition of light waves, in the following.

2.3 ఒకే చీలిక వద్ద ఫ్రాన్‌హోఫర్ డిఫ్రాక్షన్

ఇంటర్ఫెరెన్సు	డిఫ్రాక్షన్
1. ఈ దృగ్విషయం రెండు పొందికైన మూలాల నుండి ఉద్భవించిన ద్వితీయ తరంగాల నుండి వస్తుంది.	1. ఈ దృగ్విషయం ఒకే మూలం నుండి ఉద్భవించిన ద్వితీయ తరంగాల నుండి వస్తుంది.
2. ఇంటర్ఫెరెన్సు పట్టీలు సమాన వెడల్పుతో ఉంటాయి.	2. డిఫ్రాక్షన్ పట్టీలు ఎప్పుడూ సమాన వెడల్పుతో ఉండవు.
3. అన్ని ప్రకాశవంతమైన పట్టీల తీవ్రత ఒకే విధంగా ఉంటుంది.	3. సెంట్రల్ పట్టీ మాత్రమే గరిష్ట తీవ్రతను కలిగి ఉంటుంది మరియు పట్టీ యొక్క క్రమంతో తీవ్రత తగ్గుతుంది.
4. అన్ని చీకటి పట్టీల తీవ్రత సున్నా.	4. అన్ని చీకటి పట్టీల తీవ్రత సున్నా కాదు.

2.3 ఒకే చీలిక వద్ద ఫ్రాన్‌హోఫర్ డిఫ్రాక్షన్

వెడల్పు e ఉన్న ఇరుకైన చీలిక AB ను పరిగణించండి మరియు దానిపై లంబంగా పడే ఏకవర్ణ కాంతి యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం.λ యొక్క సమాంతర పుంజాన్ని పరిగణించండి. చీలిక నుండి డిఫ్రాక్షన్ చెందిన కాంతి కిరణాలు ఒక లెన్స్ ద్వారా స్క్రీన్‌పై కేంద్రీకరించబడతాయి. చీలికకు లంబంగా ప్రయాణించే ద్వితీయ తరంగాలు P_0 ఫోకస్ కి తీసుకురాబడతాయి మరియు చీలిక యొక్క లంబానికి θ కోణంలో ప్రయాణించే ద్వితీయ తరంగాలు P_1 వద్ద ఫోకస్ కి తీసుకురాబడతాయి.

దిశ θ నుండి A మరియు B వెంట ఉన్న ద్వితీయ తరంగాల మధ్య మార్గ వ్యత్యాసం (pd) ద్వారా ఇవ్వబడింది

$$p.d. = BC = AB\sin\theta = e\sin\theta$$

$$Phase\ difference = \frac{2\pi}{\lambda}e\sin\theta$$

చీలిక n సమాన భాగాలుగా విభజించబడితే, ఫేజ్ వ్యత్యాసం ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$\delta = \frac{2\pi}{n\lambda}e\sin\theta$$

వెక్టర్ సంకలనం యొక్క పద్ధతులను ఉపయోగించడం ద్వారా, చీలిక నుండి ఉద్భవించే తరంగాల యొక్క ఫలిత యాంప్లిట్యూడ్ ఇలా పొందబడుతుంది

$$R = a\frac{\sin n\delta/2}{\sin\delta/2} = a\frac{\sin(\pi e\sin\theta/\lambda)}{\sin(\pi e\sin\theta/n\lambda)}$$

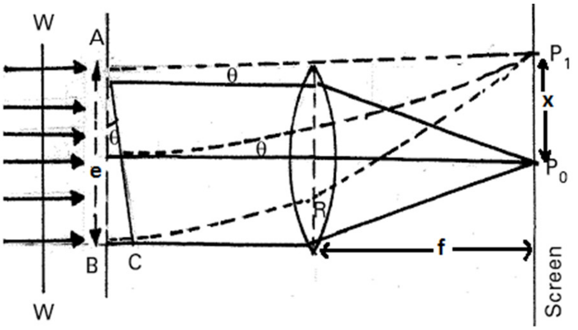
ఈ విధంగా$n \to \infty \alpha = (n-1)\delta/2 \approx n\delta/2$.ఇది కూడా సూచిస్తుంది, . $\delta \to 0 \quad \Rightarrow \sin\delta/2 \approx \delta/2$

$$R = a\frac{\sin n\delta/2}{\sin\delta/2} = a\frac{\sin\alpha}{\alpha/n} = na\frac{\sin\alpha}{\alpha} = A\frac{\sin\alpha}{\alpha}\ .$$

తీవ్రత ద్వారా ఇవ్వబడింది

Interference	**Diffraction**
1. This phenomenon results from the secondary wavelets originating from two coherent sources. 2. Interference fringes are of equal width. 3. Intensity of all bright fringes is the same. 4. Intensity of all dark fringes is zero.	1. This phenomenon results from the secondary wavelets originating from a single source. 2. Diffraction fringes are never of equal width. 3. Only central fringe will have maximum intensity and intensity reduces with the order of the fringe. 4. Intensity of all dark fringes is not zero.

2.3 Fraunhoffer diffraction at a single slit



Consider a narrow slit AB of width e and consider a parallel beam of monochromatic light of wavelength λ falling normally on it. The diffracted light rays from the slit are brought to focus by a lens onto a screen. The secondary wavelets travelling normal to the slit are brought to focus at P_0 and the secondary wavelets travelling at an angle θ to the normal of the slit are brought to focus at P_1.

The path difference (p.d.) between the secondary waves from A and B along the direction θ is given by

$$p.d. = BC = AB\sin\theta = e\sin\theta$$

$$I = R^2 = A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2}$$

ప్రధాన గరిష్టం:

మనకు తెలుసు $\lim_{\alpha \to 0} \frac{\sin \alpha}{\alpha} = 1 \quad \Rightarrow \quad R = A^2 .1 = A^2$

ఇది సంభవించే గరిష్ట యాంప్లిట్యూడ్ మరియు దీనిని ప్రధాన గరిష్టం అంటారు.$\alpha = 0$

సెకండరీ గరిష్టం:

ద్వితీయ గరిష్టాన్ని పొందేందుకు, మనము తీవ్రత ని wrt α డిఫరెన్షియేట్ చేసి, దానిని సున్నాకి సమానంగా చేస్తాము.

$$\frac{dI}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha}\left(A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2}\right) = 0$$

లేదా

$$A^2 \frac{(\alpha^2 \cdot 2 \sin \alpha \cos \alpha - \sin^2 \alpha \cdot 2\alpha)}{\alpha^4} = A^2 \cdot \frac{2 \sin \alpha}{\alpha} \cdot \frac{(\alpha \cos \alpha - \sin \alpha)}{\alpha^2} = 0$$

$$\Rightarrow \quad \alpha = 0, \quad \alpha = \tan \alpha$$

$y = \alpha, \ y = \tan \alpha$ ఖండన పాయింట్లను ప్లాట్ చేయడం మరియు సేకరించడం ద్వారా ఈ సమీకరణాన్ని గ్రాఫికల్‌గా పరిష్కరించవచ్చు.

ఖండన పాయింట్లు

$$\alpha = 0, \pm\frac{3\pi}{2}, \pm\frac{5\pi}{2}, \cdots$$

ఇక్కడ $\alpha = 0$ ప్రధాన గరిష్టానికి అనుగుణంగా ఉంటుంది. ద్వితీయ మరియు ఇతర గరిష్ట తీవ్రతలు దీని ద్వారా ఇవ్వబడ్డాయి,

$$I_1 = A^2 \left[\frac{\sin(3\pi/2)}{(3\pi/2)}\right]^2 \approx \frac{A^2}{22}$$

$$I_2 = A^2 \left[\frac{\sin(5\pi/2)}{(5\pi/2)}\right]^2 \approx \frac{A^2}{62}$$

డిఫ్రాక్షన్ మినిమా:మినిమా కోసం షరతు ఇవ్వబడింది (ఇక్కడ సున్నా లేదు) $\alpha = \pm n\pi, \boldsymbol{n} = \mathbf{1, 2, 3, \cdots}$

ప్రధాన గరిష్ట వెడల్పు:

ఫోకల్ లెంగ్త్ f ఉన్న లెన్స్ ఉపయోగించబడి ఉంటే మరియు ,x ప్రిన్సిపల్ మాక్సిమా మరియు మొదటి మినిమా మధ్య దూరం అయితే, ఫోకల్ లెన్త్ చాలా పెద్దది అయితే

$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{e} = \frac{\lambda}{e} \approx \frac{x}{f} \quad \Rightarrow x = \frac{f\lambda}{e} \quad \Rightarrow Width = 2x = \frac{2f\lambda}{e}$$

$$\text{Phase difference} = \frac{2\pi}{\lambda} e \sin\theta$$

If the slit is divided into n equal parts, the phase difference is given by

$$\delta = \frac{2\pi}{n\lambda} e \sin\theta$$

By using the methods of vector addition, the resultant amplitude of waves originating from the slit is obtained as

$$R = a\frac{\sin n\delta/2}{\sin\delta/2} = a\frac{\sin(\pi e \sin\theta\,/\lambda)}{\sin(\pi e \sin\theta\,/n\lambda)}$$

For $n \to \infty$ $\alpha = (n-1)\delta/2 \approx n\delta/2$. This also implies, $\delta \to 0 \;\;\Rightarrow \sin\delta/2 \approx \delta/2$. Thus

$$R = a\frac{\sin n\delta/2}{\sin\delta/2} = a\frac{\sin\alpha}{\alpha/n} = na\frac{\sin\alpha}{\alpha} = A\,\frac{\sin\alpha}{\alpha}\;.$$

The intensity is given by

$$I = R^2 = A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}$$

Principal maxima:

We know $\quad \lim_{\alpha\to 0}\frac{\sin\alpha}{\alpha} = 1 \quad \Rightarrow \; R = A^2.1 = A^2$

This is maximum amplitude occurring at $\alpha = 0$ and is called the principal maxima.

Secondary maxima:

To obtain the secondary maxima, we differentiate the intensity w.r.t. α and make it equal to zero.

$$\frac{dI}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha}\left(A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}\right) = 0$$

Or

$$A^2\frac{(\alpha^2\cdot 2\sin\alpha\cos\alpha - \sin^2\alpha\cdot\; 2\alpha)}{\alpha^4}$$

$$= A^2\cdot\frac{2\sin\alpha}{\alpha}\cdot\frac{(\alpha\cos\alpha - \sin\alpha)}{\alpha^2} = 0$$

$$\Rightarrow\quad \alpha = 0,\;\; \alpha = \tan\alpha$$

This equation can be solved graphically by plotting $y = \alpha$ and $y = \tan\alpha$ and collecting the intersection points.

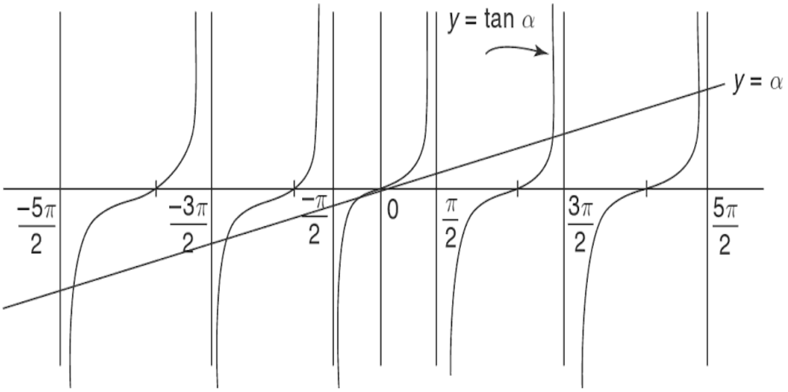


Fig: Graphical solution of linear equation.

The points of intersection are

$$\alpha = 0, \pm\frac{3\pi}{2}, \pm\frac{5\pi}{2}, \cdots$$

Here $\alpha = 0$ corresponds to the principal maxima. The intensities of secondary and other maxima are given by,

$$I_1 = A^2\left[\frac{\sin(3\pi/2)}{(3\pi/2)}\right]^2 \approx \frac{A^2}{22}$$

$$I_2 = A^2\left[\frac{\sin(5\pi/2)}{(5\pi/2)}\right]^2 \approx \frac{A^2}{62}$$

Diffraction minima: The condition for minima is given by $\alpha = \pm n\pi, \boldsymbol{n} = \mathbf{1, 2, 3}, \cdots$ **(no zero here)**

The intensity distribution is as shown:

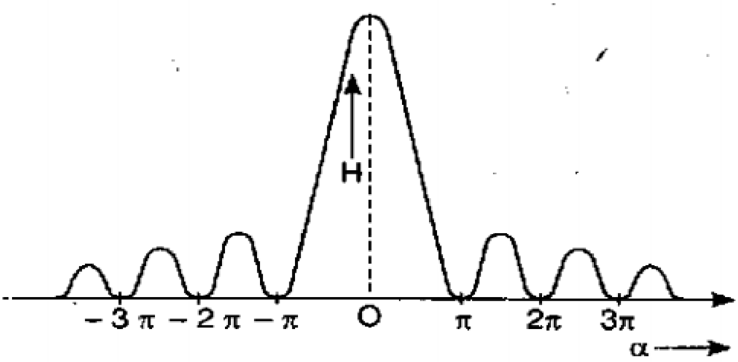


Fig: Single slit diffraction intensity distribution.

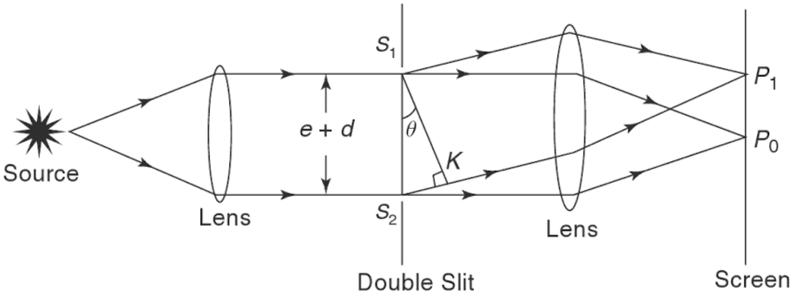
Width of principal maxima:

If f is the focal length of the lens used and x is the distance between principal maxima and first minima, then, if focal length is very large,

$$\sin\theta = \frac{n\lambda}{e} = \frac{\lambda}{e} \approx \frac{x}{f} \Rightarrow x = \frac{f\lambda}{e} \Rightarrow Width = 2x = \frac{2f\lambda}{e}$$

Double slit diffraction: (Additional input)

Let S_1 and S_2 be two slits of width e each and separated by a distance d. Then the separation between the midpoints of the slit is $(e + d)$. Consider a parallel beam of monochromatic light of wavelength λ falling normally on them. The diffracted light rays from the slits are brought to focus by a lens onto a screen. The secondary wavelets travelling normal to the slits are brought to focus at P_0 and the secondary wavelets travelling at an angle θ to the normal of the slit are brought to focus at P_1.



The path difference between the secondary waves from S_1 and S_2 along the direction θ is given by

$$p.d. = S_2K = S_1S_2 \sin\theta = (e + d)\sin\theta$$

$$Phase\ difference\ \delta = \frac{2\pi}{\lambda}(e + d)\sin\theta = 2\beta\ (say)$$

The resultant amplitude at each slit due to diffraction is obtained by vector addition of amplitudes as

$$A\frac{\sin\alpha}{\alpha} \quad where \quad \alpha = \frac{\pi\, e \sin\theta}{\lambda}$$

The resultant amplitude at P_1 due to the light from S_1 and S_2 is obtained by vector addition as shown below

2.3 Fraunhoffer diffraction at a single slit

డబుల్ స్లిట్ డిఫ్రాక్షన్: (అదనపు ఇన్‌పుట్)

ప్రతి వెడల్పు e ఉన్న రెండు చీలికలు S_1 మరియు S_2 మరియు వాటి మధ్య దూరం d . అప్పుడు చీలిక యొక్క మధ్య బిందువుల మధ్య విభజన $(e+d)$. వాటిపై సాధారణంగా పడే ఏకవర్ణ కాంతి యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం λ యొక్క సమాంతర పుంజాన్ని పరిగణించండి. చీలికల నుండి డిఫ్రాక్షన్ చేయబడిన కాంతి కిరణాలు ఒక లెన్స్ ద్వారా స్క్రీన్‌పై కేంద్రీకరించబడతాయి. చీలికకు లంబంగా ప్రయాణించే ద్వితీయ తరంగాలు P_0 ఫోకస్ కి తీసుకురాబడతాయి మరియు చీలిక యొక్క లంబానికి θ కోణంలో ప్రయాణించే ద్వితీయ తరంగాలు P_1 వద్ద ఫోకస్ కి తీసుకురాబడతాయి.

దిశ θ నుండి A మరియు B వెంట ఉన్న ద్వితీయ తరంగాల మధ్య మార్గ వ్యత్యాసం (pd) ద్వారా ఇవ్వబడింది

$$p.d. = S_2K = S_1S_2 \sin\theta = (e+d)\sin\theta$$

$$Phase\ difference\ \delta = \frac{2\pi}{\lambda}(e+d)\sin\theta = 2\beta\ (say)$$

The resultant amplitude distribution is as shown below.

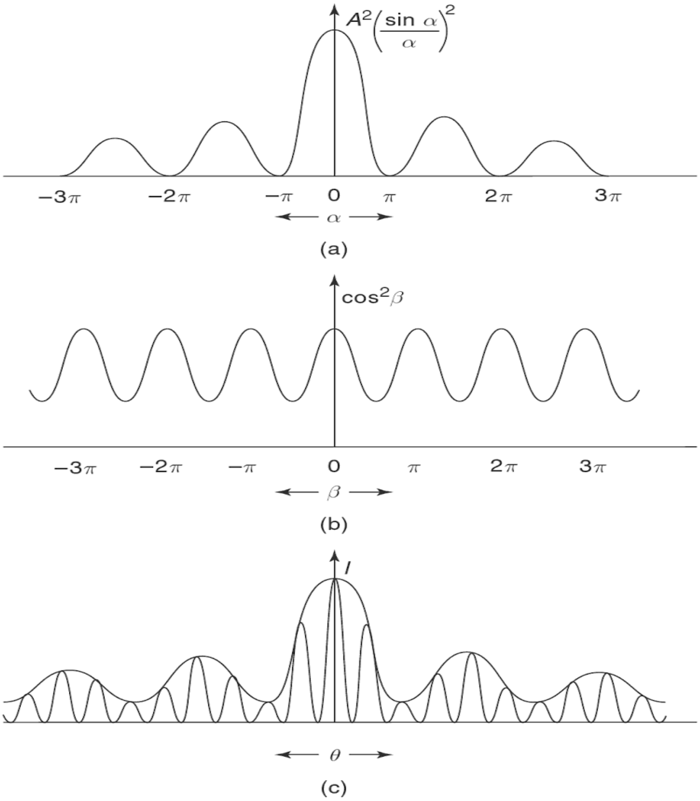
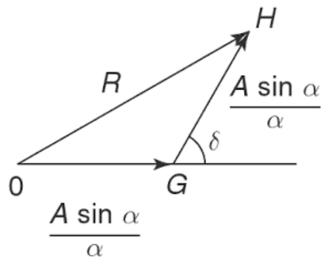


Fig: Double slit diffraction intensity distribution.



$$I = R^2 = (OH)^2 = (OG)^2 + (GH)^2 + 2(OG)(GH)\cos\delta$$
$$= A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2} + A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2} + 2\cdot A\frac{\sin\alpha}{\alpha}\cdot A\frac{\sin\alpha}{\alpha}\cdot\cos\delta$$
$$= 2A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}(1+\cos\delta)$$
$$= 2A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}(1+2\cos^2\delta/2-1)$$
$$= 4A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}\cos^2\beta$$

Here $A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}$ represents the diffraction effect due to a single slit and $\cos^2\beta$ represents the interference effect due to two slits.

The diffraction term $A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}$ gives a principal maxima at $\alpha = 0$, secondary maxima at $\alpha = \pm\frac{3\pi}{2}, \pm\frac{5\pi}{2}\cdots$ and minima at $\alpha = \pm n\pi, n = 1, 2, 3, \cdots$

The interference term $\cos^2\beta$ gives maxima at $\cos^2\beta = 1 \Rightarrow \beta = \pm n\pi,\ \ n = 0, 1, 2, 3, \cdots$ and minima at $\cos^2\beta = 0 \Rightarrow \beta = \pm(2n+1)\pi/2,\ \ n = 0, 1, 2, 3, \cdots$

N-Slit diffraction: (Additional input)

A diffraction grating is an arrangement which consists of a large number of slits of equal width separated by equal opaque spaces. This is obtained by scratching parallel lines on a glass plate with equal width and separation. Here the scratches act like opaque spaces and the clear **pane** between them acts like slit. This was first devised by Fraunhoffer by placing parallel wires on a glass plate. This is also called "Plane transmission grating". If the lines are scratched on a glass mirror, then it is called "Plane reflection grating". IF they are scratched on a concave mirror, then it is called as "Concave reflection grating".

2.3 Fraunhoffer diffraction at a single slit

డిఫ్రాక్షన్ కారణంగా ప్రతి చీలిక వద్ద ఫలిత యాంప్లిట్యూడ్ ని యాంప్లిట్యూడ్‌ల వెక్టర్ జోడింపు ద్వారా పొందబడుతుంది

$$A\frac{\sin\alpha}{\alpha} \quad where \quad \alpha = \frac{\pi\, e \sin\theta}{\lambda}$$

క్రింద చూపిన విధంగా S_1, S_2 ద్వారా కాంతి వెక్టార్ జోడింపు మరియు దాని ఫలితంగా వచ్చే యాంప్లిట్యూడ్ P_1 వద్ద

$$\begin{aligned} I = R^2 &= (OH)^2 = (OG)^2 + (GH)^2 + 2(OG)(GH)\cos\delta \\ &= A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2} + A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2} + 2\cdot A\frac{\sin\alpha}{\alpha}\cdot A\frac{\sin\alpha}{\alpha}\cdot\cos\delta \\ &= 2A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}(1+\cos\delta) \\ &= 2A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}(1+2\cos^2\delta/2-1) \\ &= 4A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}\cos^2\beta \end{aligned}$$

ఇక్కడ ఒకే చీలిక కారణంగా డిఫ్రాక్షన్ ప్రభావాన్ని .$A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}$ సూచిస్తుంది మరియు రెండు చీలికల కారణంగా ఇంటర్ఫెరెన్సు ప్రభావాన్ని $\cos^2\beta$ సూచిస్తుంది

డిఫ్రాక్షన్ పదం $A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}$ ప్రధాన గరిష్టాన్ని ఇస్తుంది$\alpha = 0$ వద్ద, సెకండరీ మాగ్జిమా $\alpha = \pm\frac{3\pi}{2}, \pm\frac{5\pi}{2}\cdots$ వద్ద మరియు కనిష్టాన్ని $\alpha = \pm n\pi, n = 1, 2, 3, \cdots$ వద్ద ఇస్తుంది

ఇంటర్ఫెరెన్సు పదం $\cos^2\beta$ గరిష్టం $\cos^2\beta = 1 \Rightarrow \beta = \pm n\pi,\ \ n = 0, 1, 2, 3, \cdots$ వద్ద మరియు కనిష్ట $\cos^2\beta = 0 \Rightarrow \beta = \pm(2n+1)\pi/2,\ \ n = 0, 1, 2, 3, \cdots$ వద్ద ఇస్తుంది

N-స్లిట్ డిఫ్రాక్షన్: (అదనపు ఇన్‌పుట్)

డిఫ్రాక్షన్ గ్రేటింగ్ అనేది ఒక అమరిక, ఇది సమాన అపారదర్శక ఖాళీలతో వేరు చేయబడిన సమాన వెడల్పు గల పెద్ద సంఖ్యలో చీలికలను కలిగి ఉంటుంది. సమాన వెడల్పు మరియు విభజనతో గాజు పలకపై సమాంతర రేఖలను గోకడం ద్వారా ఇది పొందబడుతుంది. ఇక్కడ గీతలు అపారదర్శక ఖాళీల వలె పని చేస్తాయి మరియు వాటి మధ్య స్పష్టమైన పేన్ చీలిక వలె పనిచేస్తుంది. గ్లాస్ ప్లేట్‌పై సమాంతర తీగలను ఉంచడం ద్వారా దీనిని మొదట ఫ్రాన్‌హోఫర్ రూపొందించారు. దీనిని "ప్లేన్ ట్రాన్స్మిషన్ గ్రేటింగ్" అని కూడా పిలుస్తారు. గ్లాస్ మిర్రర్‌పై గీతలు గీసినట్లయితే, దానిని "ప్లేన్ రిఫ్లెక్షన్ గ్రేటింగ్" అంటారు. అవి పుటాకార అద్దంపై గీసినట్లయితే, దానిని "పుటాకార ప్రతిబింబం గ్రేటింగ్" అంటారు.

సిద్ధాంతం:

తరంగదైర్ఘ్యం λ యొక్క ఇన్సిడెంట్ ప్లేన్ మోనోక్రోమటిక్ వేవ్ ఫ్రంట్‌కు లంబంగా ఉంచబడిన ప్లేన్ ట్రాన్స్‌మిషన్ గ్రేటింగ్ (N-స్లిట్స్)ను పరిగణించండి. ప్రతి చీలిక యొక్క వెడల్పు .e మరియు వాటి మధ్య అంతరం d ఉండనివ్వండి. ఇక్కడ $(e + d)$ గ్రేటింగ్ మూలకం అంటారు. చీలికల నుండి డిఫ్రాక్షన్ చేయబడిన కాంతి కిరణాలు ఒక లెన్స్ ద్వారా స్క్రీన్‌పై ఫోకస్ కేంద్రీకరించబడతాయి. చీలికకు లంబంగా ప్రయాణించే ద్వితీయ తరంగాలు P_0 ఫోకస్ కి తీసుకురాబడతాయి మరియు చీలిక యొక్క లంబానికి θ కోణంలో ప్రయాణించే ద్వితీయ తరంగాలు P_1 వద్ద ఫోకస్ కి తీసుకురాబడతాయి.

Theory:

Consider a plane transmission grating (N-slits) placed perpendicular to an incident plane monochromatic wave front of wavelength λ. Let e be the width of each slit and d be the spacing between them. Here $(e+d)$ is called the grating element. The diffracted light rays from the slits are brought to focus by a lens onto a screen. The secondary wavelets travelling normal to the slits are brought to focus at P_0 and the secondary wavelets travelling at an angle θ to the normal of the slit are brought to focus at P_1.

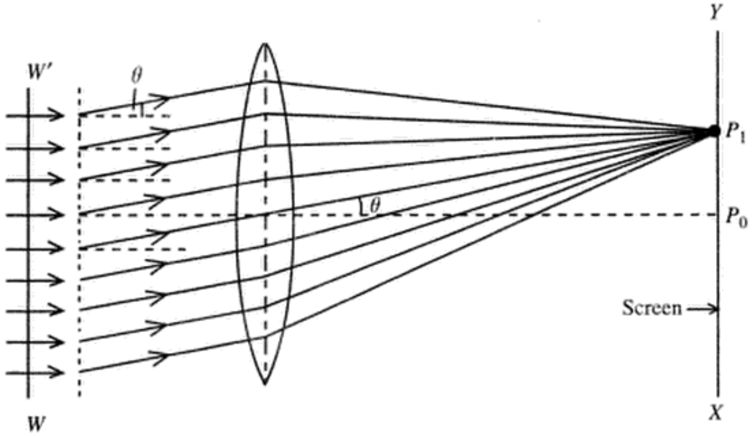


Fig: N-slit diffraction

If there are N slits, the phase difference between any two consecutive slits along the direction θ is given by

$$Phase\ difference\ \delta = \frac{2\pi}{\lambda}(e+d)\sin\theta = 2\beta\ (say)$$

The resultant amplitude at each slit due to diffraction is obtained by vector addition of amplitudes as

$$A\frac{\sin\alpha}{\alpha} \quad where \quad \alpha = \frac{\pi\, e \sin\theta}{\lambda}$$

By the method of vector addition of amplitudes,

$$R = a\frac{\sin n\delta/2}{\sin\delta/2}$$

In this case, $a = A\frac{\sin\alpha}{\alpha}, n = N, \delta = 2\beta$; thus

$$R = A\frac{\sin\alpha}{\alpha}\cdot\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}$$

Or, the intensity is given by

2.3 Fraunhoffer diffraction at a single slit

N స్లిట్‌లు ఉన్నట్లయితే, θ దిశలో ఏవైనా రెండు వరుస చీలికల మధ్య ఫేజ్ వ్యత్యాసం దీని ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$Phase\ difference\ \delta = \frac{2\pi}{\lambda}(e+d)\sin\theta = 2\beta\ (say)$$

డిఫ్రాక్షన్ కారణంగా ప్రతి చీలిక వద్ద ఫలిత యాంప్లిట్యూడ్ ని యాంప్లిట్యూడ్‌ల వెక్టర్ జోడింపు ద్వారా పొందబడుతుంది

$$A\frac{\sin\alpha}{\alpha} \quad where \quad \alpha = \frac{\pi\, e\sin\theta}{\lambda}$$

యాంప్లిట్యూడ్స్ యొక్క వెక్టర్ జోడింపు పద్ధతి ద్వారా,

$$R = a\frac{\sin n\delta/2}{\sin\delta/2}$$

ఈ సందర్భంలో, $a = A\frac{\sin\alpha}{\alpha} n = N\delta = 2\beta$

$$R = A\frac{\sin\alpha}{\alpha}\cdot\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}$$

లేదా, తీవ్రత ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$I = R^2 = A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}\cdot\frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2\beta}$$

ఈ పదం $A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}\alpha = 0$ ప్రధాన గరిష్టాన్ని $\alpha = \pm\frac{3\pi}{2}, \pm\frac{5\pi}{2}\cdots$ వద్ద, మరియు సెకండరీ మాగ్జిమా $\alpha = \pm n\pi, n = 1, 2, 3, \cdots$వద్ద కనిష్టాన్ని ఇస్తుంది

ప్రధాన గరిష్టం:

ప్రధాన మాగ్జిమా కోసం షరతుsin $\beta = 0 \Rightarrow \beta = \pm n\pi, n = 0, 1, 2, \cdots$

లేదా$\frac{\pi}{\lambda}(e+d)\sin\theta = \pm n\pi \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{(e+d)\sin\theta = \pm n\lambda}$

అప్పుడు

$$\lim_{\beta\to\pm n\pi}\frac{\sin N\beta}{\sin\beta} = \lim_{\beta\to\pm n\pi}\left(\frac{\frac{d}{d\beta}\sin N\beta}{\frac{d}{d\beta}\sin\beta}\right) = \lim_{\beta\to\pm n\pi}\left(\frac{N\cos N\beta}{\cos\beta}\right) = \pm N$$

$$\Rightarrow \lim_{\beta\to\pm n\pi}\left(\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}\right)^2 = N^2$$

గరిష్ట తీవ్రత ద్వారా ఇవ్వబడింది$I = N^2A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}$

సెకండరీ గరిష్టం:

ద్వితీయ గరిష్టాన్ని పొందేందుకు, మనము తీవ్రత ని wrt β డిఫరెన్షియేట్ చేసి, దానిని సున్నాకి సమానంగా చేస్తాము

$$\frac{dI}{d\beta} = \frac{d}{d\beta}\left[A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}\cdot\frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2\beta}\right] = A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}\cdot\frac{(\sin^2\beta\cdot N\cdot 2\sin N\beta\cdot\cos N\beta - \sin^2 N\beta\cdot 2\sin\beta\cdot\cos\beta)}{\sin^4\beta}$$

$$= A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}\cdot 2\cdot\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}\cdot\frac{(N\cos N\beta\sin\beta - \sin N\beta\cos\beta)}{\sin^2\beta} = 0$$

లేదా లేదా$N\cos N\beta\sin\beta - \sin N\beta\cos\beta = 0 N\tan\beta = \tan N\beta$

$$I = R^2 = A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \cdot \frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2 \beta}$$

The term $A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2}$ gives a principal maxima at $\alpha = 0$, secondary maxima at $\alpha = \pm\frac{3\pi}{2}, \pm\frac{5\pi}{2} \cdots$ and minima at $\alpha = \pm n\pi, n = 1, 2, 3, \cdots$

Principal maxima:

The condition for principal maxima is $\sin \beta = 0 \Rightarrow \beta = \pm n\pi, n = 0, 1, 2, \cdots$

Or $\frac{\pi}{\lambda}(e + d)\sin\theta = \pm n\pi \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{(e + d)\sin\theta = \pm n\lambda}$

Then

$$\lim_{\beta \to \pm n\pi} \frac{\sin N\beta}{\sin \beta} = \lim_{\beta \to \pm n\pi} \left(\frac{\frac{d}{d\beta}\sin N\beta}{\frac{d}{d\beta}\sin \beta} \right) = \lim_{\beta \to \pm n\pi} \left(\frac{N \cos N\beta}{\cos \beta} \right) = \pm N$$

$$\Rightarrow \lim_{\beta \to \pm n\pi} \left(\frac{\sin N\beta}{\sin \beta} \right)^2 = N^2$$

The maximum intensity is given by $I = N^2 A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2}$

Secondary maxima:

To obtain the condition for secondary minima, one needs to differentiate the intensity expression w.r.t. β and make it equal to zero.

$$\frac{dI}{d\beta} = \frac{d}{d\beta}\left[A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \cdot \frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2 \beta} \right]$$

$$= A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \cdot \frac{(\sin^2 \beta \cdot N \cdot 2\sin N\beta \cdot \cos N\beta - \sin^2 N\beta \cdot 2\sin\beta \cdot \cos\beta)}{\sin^4 \beta}$$

$$= A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \cdot 2 \cdot \frac{\sin N\beta}{\sin \beta} \cdot \frac{(N \cos N\beta \sin\beta - \sin N\beta \cos\beta)}{\sin^2 \beta} = 0$$

Or $\quad N \cos N\beta \sin \beta - \sin N\beta \cos \beta = 0$ or $N \tan \beta = \tan N\beta$

దీని నుండి,$\sin N\beta = \frac{N}{\sqrt{N^2+\cot^2\beta}}$

లేదా

$$\frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2\beta} = \frac{N^2}{(N^2+\cot^2\beta)\sin^2\beta} = \frac{N^2}{(N^2\sin^2\beta+\cos^2\beta)} = \frac{N^2}{(N^2-1)\sin^2\beta+1}$$

లేదా సెకండరీ మాగ్జిమా యొక్క తీవ్రత దీని ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}\cdot\frac{N^2}{(N^2-1)\sin^2\beta+1}$$

లేదా

$$\frac{Intensity\ of\ secondary\ maxima}{Intensity\ of\ principal\ maxima} = \frac{1}{(N^2-1)\sin^2\beta+1}$$

అందువల్ల N చాలా పెద్దది అయితే , ద్వితీయ గరిష్టం అతితక్కువ తీవ్రతను కలిగి ఉంటుంది.

డిఫ్రాక్షన్ మినిమా:

డిఫ్రాక్షన్ నమూనా కనిష్టంగా ఉంటేsin $N\beta = 0$అయినా కూడా ,$\sin\beta \neq 0$

అనగా;$N\beta = \pm n\pi, n = 0,1,2,\cdots \Rightarrow N\frac{\pi}{\lambda}(e+d)\sin\theta = \pm n\pi \Rightarrow \boldsymbol{N(e+d)\sin\theta = \pm n\lambda}$

తీవ్రత పంపిణీ చూపిన విధంగా ఉంది.

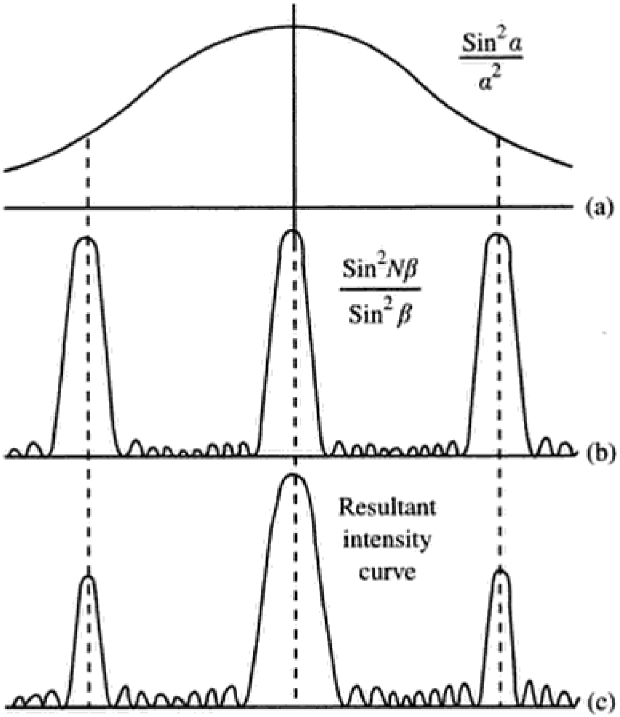
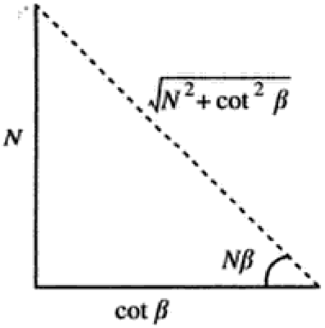


Fig: N-slit diffraction intensity distribution.



From this, $\sin N\beta = \frac{N}{\sqrt{N^2+\cot^2\beta}}$

Or

$$\frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2\beta} = \frac{N^2}{(N^2+\cot^2\beta)\sin^2\beta} = \frac{N^2}{(N^2\sin^2\beta+\cos^2\beta)}$$
$$= \frac{N^2}{(N^2-1)\sin^2\beta+1}$$

Or the intensity of secondary maxima is given by

$$A^2\frac{\sin^2\alpha}{\alpha^2}\cdot\frac{N^2}{(N^2-1)\sin^2\beta+1}$$

Or

$$\frac{Intensity\ of\ secondary\ maxima}{Intensity\ of\ principal\ maxima} = \frac{1}{(N^2-1)\sin^2\beta+1}$$

Thus for very large N, secondary maxima will have negligible intensity.

Diffraction minima:

The diffraction pattern will have minimum if $\sin N\beta = 0$ even if $\sin\beta \neq 0$,

i.e.; $N\beta = \pm n\pi, n = 0, 1, 2, \cdots \quad \Rightarrow N\frac{\pi}{\lambda}(e+d)\sin\theta = \pm n\pi \quad \Rightarrow$

$\boldsymbol{N(e+d)\sin\theta = \pm n\lambda}$

The intensity distribution is as shown.

2.4 Diffraction grating

On a grating usually there will be $3000 - 5000$ number of lines per inch. We already know that if e be the width of the line

2.4 డిఫ్రాక్షన్ గ్రేటింగ్

2.4 డిఫ్రాక్షన్ గ్రేటింగ్

గ్రేటింగ్‌పై సాధారణంగా అంగుళానికి పంక్తుల సంఖ్య 3000 – 5000 ఉంటుంది. లైన్ యొక్క వెడల్పు e మరియు చీలిక యొక్క వెడల్పు d అంగుళానికి N పంక్తులు ఉంటే, అయితే, గ్రేటింగ్ ఎలిమెంట్ $(e + d)$ వ్రాయవచ్చు

$$N(e + d) = 1" = 2.54\ cm$$

లేదా (అంగుళానికి పంక్తులు ఇచ్చినట్లయితే)

$$e + d = \frac{2.54}{N}\ cm$$

మరియు సెంటీమీటర్‌కు పంక్తులు ఇచ్చినట్లయితే,

$$(e + d) = \frac{1}{N}\ cm$$

గ్రేటింగ్‌లో ప్రధాన మాగ్జిమా కోసం షరతు ఇవ్వబడింది

$$(e + d) \sin\theta = n\lambda$$

దీనిని గ్రేటింగ్ సమీకరణం అని కూడా అంటారు. ఈ గ్రేటింగ్ సమీకరణం నుండి, ఈ క్రింది పరిశీలనలను చేయవచ్చు.

1. ఒక నిర్దిష్ట తరంగదైర్ఘ్యం λ కోసం, విభిన్న ఆర్డర్‌ల ప్రధాన గరిష్టానికి డిఫ్రాక్షన్ కోణం $\theta(n)$ భిన్నంగా ఉంటుంది.
2. గ్రేటింగ్‌పై పంక్తుల సంఖ్య N పెరిగితే, .$(e + d)$ తగ్గుతుంది మరియు గరిష్టం స్పష్టంగా మరియు ప్రకాశవంతంగా కనిపిస్తుంది.
3. తెల్లని కాంతి కోసం మరియు నిర్దిష్ట క్రమంలో n , పొడవైన తరంగదైర్ఘ్యాలు పెద్ద డిఫ్రాక్షన్ కోణాన్ని తీసుకుంటాయి మరియు తక్కువ తరంగదైర్ఘ్యాలు చిన్న డిఫ్రాక్షన్ కోణాన్ని తీసుకుంటాయి. ఆ విధంగా మనం కేంద్రం నుండి కదిలేటప్పుడు వర్ణపట రంగులు వైలెట్ నుండి ఎరుపు వరకు ఉంటాయి.
4. చాలా తీవ్రత ప్రధాన గరిష్టానికి వెళుతుంది మరియు మిగిలినది సెంట్రల్ గరిష్టానికి ఇరువైపులా ఉన్న ద్వితీయ గరిష్టం మధ్య పంపిణీ చేయబడుతుంది.
5. మనము అధిక ఆర్డర్‌లకు వెళ్లినప్పుడు, స్పెక్ట్రల్ లైన్‌లు మరింత చెదరగొట్టబడతాయి.
6. గ్రేటింగ్ స్పెక్ట్రాలో గరిష్ట సంఖ్యలో ఆర్డర్‌లు ఇవ్వబడ్డాయి$n_{max} = \frac{(e+d)\sin 90°}{\lambda} = \frac{e+d}{\lambda} = \frac{1}{N\lambda}$

   అందువలన అప్పుడు $(e + d) = \lambda/2$ మరియు $n_{max} = 2(e + d) < \lambda/2$ ఉంటే అప్పుడు . అనగా; ఒక ఆర్డర్ మాత్రమే గమనించబడుతుంది.$n_{max} < 2$

గ్రేటింగ్ మూలకం యొక్క వెడల్పు పెద్దగా ఉన్నట్లయితే ఎక్కువ సంఖ్యలో ఆర్డర్‌లు గమనించబడతాయి. కానీ గ్రేటింగ్ మూలకం పరిమాణం పెరిగితే, డిఫ్రాక్షన్ కోణం తగ్గుతుంది. మరో మాటలో చెప్పాలంటే, మరిన్ని ఆర్డర్‌లు చిన్న ప్రాంతంలో అమర్చబడతాయి, దీని ఫలితంగా ఆర్డర్‌ల అతియాంప్లిట్యూడ్ మరియు ఏకరీతి వెలుతురు ఏర్పడవచ్చు

and d be the width of the slit, then $(e+d)$ is the ***grating element***.
If there are N lines per inch, one can write

$$N(e+d) = 1" = 2.54\ cm$$

Or (if lines per inch are given)

$$e+d = \frac{2.54}{N}\ cm$$

And if lines per centimeter are given,

$$(e+d) = \frac{1}{N}\ cm$$

The condition for principal maxima in a grating is given by

$$(e+d)\sin\theta = n\lambda$$

This is also known as the grating equation. From this grating equation, the following observations can be made.

7. For a particular wavelength λ, the angle of diffraction θ is different for principal maxima of different orders (n).
8. If number of lines N on the grating increases, $(e+d)$ decreases and the maxima appears sharper and brighter.
9. For white light and for a particular order n , longer wavelengths take bigger diffraction angle and shorter wavelengths take smaller diffraction angle. Thus spectral colors will be from violet to red as we move from the center.
10. Most of the intensity goes to principal maxima and the rest will be distributed among the secondary maxima on either side of the central maxima.
11. As we go to higher orders, spectral lines are more dispersed.
12. The maximum number of orders in the grating spectra is given by $n_{max} = \frac{(e+d)\sin 90°}{\lambda} = \frac{e+d}{\lambda} = \frac{1}{N\lambda}$
    Thus if $(e+d) = \lambda/2$ then $n_{max} = 2$ and if $(e+d) < \lambda/2$ then $n_{max} < 2$. i.e.; only one order will be observed.
13. Thus more number of orders will be observed if the width of the grating element is larger. But if the size of grating element increases, diffraction angle reduces. In other words more orders will be fitted into smaller region which may result in overlapping of orders and uniform illumination.

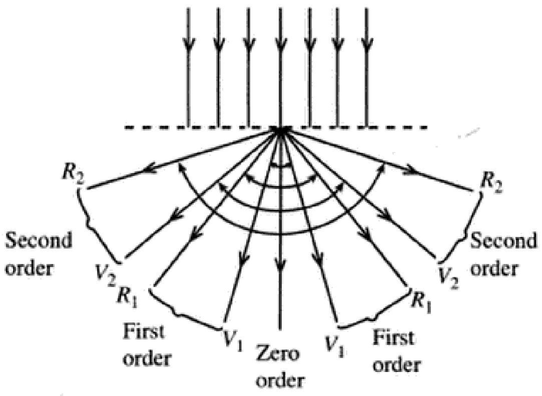


Fig: Transmission grating orders of spectrum.

Activity

Compare and contrast the spectra produced by a prism and a diffraction grating. Why they are opposite to each other?

2.5 డిఫ్రాక్షన్ గ్రేటింగ్ ఉపయోగించి కాంతి తరంగదైర్ఘ్యం యొక్క నిర్ధారణ

లేజర్ కాంతి యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం యొక్క నిర్ధారణ

ప్రయోగాత్మక అమరిక స్టాండ్‌పై ఉంచబడిన డిఫ్రాక్షన్ గ్రేటింగ్‌ను కలిగి ఉంటుంది.

లేజర్ లైట్, మరొక స్టాండ్‌పై ఉంచబడుతుంది మరియు సాధారణంగా గ్రేటింగ్‌పై సరిగ్గా సర్దుబాటు చేయబడుతుంది. ఫలిత డిఫ్రాక్షన్ నమూనా గ్రేటింగ్ ఉపరితలానికి సమాంతరంగా D దూరంలో ఉంచబడు స్క్రీన్‌పై సేకరించబడుతుంది.

కాంతి మూలం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం దీని ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$\lambda = \frac{(e+d)\sin\theta_n}{n} = \frac{2.54 \times \sin\theta_n}{nN}$$

ఇక్కడ స్పెక్ట్రం యొక్క క్రమం n మరియు గ్రేటింగ్‌పై అంగుళానికి ఉన్న పంక్తుల సంఖ్య N. $\sin\theta$ ద్వారా పొందబడుతుంది

$$\sin\theta_1 = \frac{OA}{\sqrt{OA^2 + AB^2}} = \frac{D}{\sqrt{D^2 + x_1^2}}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{OA}{\sqrt{OA^2 + AC^2}} = \frac{D}{\sqrt{D^2 + x_2^2}}$$

2.5 Determination of wavelength of light using diffraction grating

Determination of Wavelength of the laser light

The experimental arrangement consists of a diffraction grating placed on a stand.

Laser light, kept on another stand and suitable adjusted is incident on the grating normally.

The resultant diffraction pattern is collected on a screen, kept at a distance D, parallel to the grating surface.

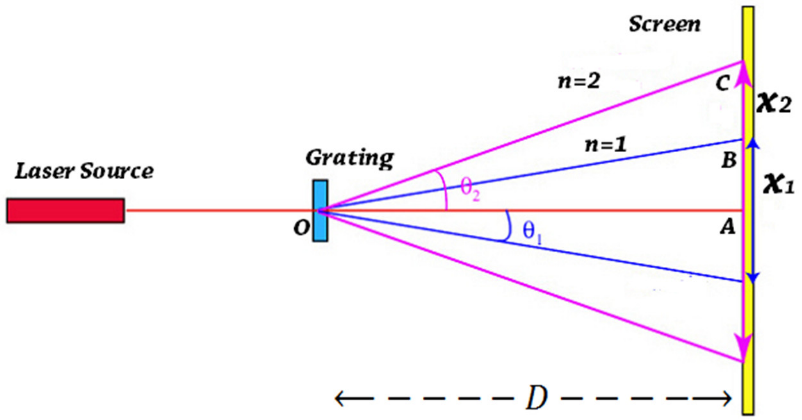


Fig: Wavelength of laser light determination using grating.

The wavelength of the light source is given by

$$\lambda = \frac{(e+d)\sin\theta_n}{n} = \frac{2.54 \times \sin\theta_n}{nN}$$

Here n is the order of the spectrum and N is the number of lines per inch on the grating. $\sin\theta$ is obtained by

$$\sin\theta_1 = \frac{OA}{\sqrt{OA^2 + AB^2}} = \frac{D}{\sqrt{D^2 + x_1^2}}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{OA}{\sqrt{OA^2 + AC^2}} = \frac{D}{\sqrt{D^2 + x_2^2}}$$

Here the values of x_1 and x_2 are measured on either side of the central maxima and averaged for a better accuracy. This is to avoid the error due to tilted orientation of the screen with respect to the grating surface.

2.5 Determination of wavelength of light using diffraction grating

ఇక్కడ విలువలు x_1 మరియు x_2 కేంద్ర గరిష్టానికి ఇరువైపులా కొలుస్తారు మరియు మెరుగైన ఖచ్చితత్వం కోసం సగటున లెక్కించబడతాయి. ఇది గ్రేటింగ్ ఉపరితలానికి సంబంధించి స్కేల్ యొక్క వంపుతిరిగిన ఓరియంటేషన్ కారణంగా లోపాన్ని నివారించడం.

లంబ కాంతి యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం యొక్క నిర్ధారణ

ప్రయోగాత్మక అమరికలో స్పెక్ట్రోమీటర్, లైట్ సోర్స్ మరియు డిఫ్రాక్షన్ గ్రేటింగ్ ఉంటాయి.

స్పెక్ట్రోమీటర్ యొక్క ప్రాథమిక సెట్టింగ్‌లు క్రింది విధంగా ఉన్నాయి.

a. స్పెక్ట్రోమీటర్‌లోని వివిధ భాగాలు అంటే బేస్, టెలిస్కోప్, కొలిమేటర్, వెర్నియర్ టేబుల్, ప్రిజం టేబుల్ క్షితిజ సమాంతరంగా ఉండాలి. ఆత్మ స్థాయిని ఉపయోగించడం ద్వారా దీనిని నిర్ధారించవచ్చు.
b. టెలిస్కోప్ యొక్క ఐపీస్ క్రాస్ వైర్లను కేంద్రీకరించడానికి సర్దుబాటు చేయబడింది.
c. టెలిస్కోప్ దూర వస్తువుపై కేంద్రీకరించబడింది. అందువలన టెలిస్కోప్ సమాంతర కిరణాలను మాత్రమే కేంద్రీకరిస్తుంది. టెలిస్కోప్ ద్వారా కాంతి కిరణాల తదుపరి వంగకుండా ఉండేలా ఇది జరుగుతుంది.
d. కొలిమేటర్‌లోని చీలిక పొడవుగా మరియు ఇరుకైనదిగా సర్దుబాటు చేయబడింది.
e. కొలిమేటర్ స్క్రూను సర్దుబాటు చేయడం ద్వారా స్లిట్ టెలిస్కోప్‌లో కేంద్రీకరించబడుతుంది.
f. టెలిస్కోప్ యొక్క క్రాస్ వైర్లు చీలికతో సమలేఖనం చేయబడ్డాయి మరియు టెలిస్కోప్ స్క్రూ లాక్ చేయబడింది.
g. వెర్నియర్ స్కేల్ $45^\circ, 315^\circ$ సెట్ చేయబడింది మరియు వెర్నియర్ స్క్రూ లాక్ చేయబడింది. ఇప్పుడు టెలిస్కోప్ తదుపరి రీడింగుల కోసం విడుదల చేయబడింది. (ప్రిజం ప్రయోగాలు మరియు గ్రేటింగ్‌తో ఇతర ప్రయోగాల కోసం, వెర్నియర్ స్కేల్ సాధారణంగా $0^\circ, 360^\circ$ రీడింగ్‌కి సెట్ చేయబడుతుంది.)

లంబ పతన మోడ్‌లో గ్రేటింగ్‌ను సెట్ చేయుట:

a. స్పెక్ట్రోమీటర్ యొక్క ప్రాథమిక సెట్టింగ్‌లు పూర్తయిన తర్వాత, టెలిస్కోప్‌ను కుడి వైపుకు (అంటిక్లాక్ వైస్) 90° తిప్పండి. అప్పుడు వెర్నియర్ స్కేల్‌పై పఠనం 135° మరియు45° .
b. ప్రిజం టేబుల్‌ను తిప్పండి, తద్వారా గ్రేటింగ్ పతన పుంజంతో ఒక 45° కోణాన్ని చేస్తుంది మరియు చీలిక యొక్క ప్రతిబింబించే చిత్రం టెలిస్కోప్ ద్వారా చూడవచ్చు.
c. ఈ సమయంలో, కొలిమేటర్‌తో సమలేఖనం చేయడానికి టెలిస్కోప్‌ను తిరిగి తీసుకురండి మరియు దానిని లాక్ చేయండి.
d. వెర్నియర్ లాక్‌ని విడుదల చేసి, దానిని సవ్యదిశలో 45° తిప్పండి మరియు దాన్ని మళ్లీ లాక్ చేయండి. అప్పుడు వెర్నియర్ రీడింగులు 0° మరియు 360° . ఇప్పుడు గ్రేటింగ్ లంబ ఇన్సిడెన్స్ మోడ్‌లో సెట్ చేయబడింది.
e. టెలిస్కోప్‌ను విడుదల చేసి, క్రాస్ వైర్‌లను ఏదైనా డిఫ్రాక్షన్ మాగ్జిమాతో సమలేఖనం చేయండి మరియు అసలు స్థానానికి సంబంధించి వెర్నియర్ రీడింగ్‌ల తేడాను డిఫ్రాక్షన్ కోణంగా రికార్డ్ చేయండి.
f. కాంతి మూలం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం దీని ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$\lambda = \frac{(e+d)\sin\theta_n}{n} = \frac{2.54 \times \sin\theta_n}{nN}$$

స్పెక్ట్రమ్ యొక్క క్రమం n ఇక్కడ ఉంది. గ్రేటింగ్‌పై అంగుళానికి ఉన్న పంక్తుల సంఖ్య.N

Determination of Wavelength of the ordinary light

The experimental arrangement consists of a spectrometer, light source and the diffraction grating.

The primary settings of the spectrometer are as follows.

h. Various parts of the spectrometer namely base, telescope, collimator, Vernier table, prism table must be horizontal. This can be ensured by using a spirit level.
i. The eyepiece of the telescope is adjusted to focus the cross wires.
j. Telescope is focused to a distance object. Thus the telescope focuses only parallel rays. This is to ensure that no further bending of light rays is produced by the telescope.
k. Slit in the collimator is adjusted to be long and narrow.
l. Slit is focused in the telescope by adjusting collimator screw.
m. Cross wires of the telescope are aligned with the slit and telescope screw is locked.
n. Vernier scale is set to 45° and 315° reading and Vernier screw is locked. Now the telescope is released for further readings. (For prism experiments and other experiments with grating, Vernier scale is usually set to 0°, 360° reading.)

Setting Grating in normal incidence mode:

g. After the primary settings of the spectrometer are done, turn the telescope by 90° towards right (anticlockwise). Then the reading on the Vernier scale will be 135° and 45°.
h. Rotate the prism table so that the grating makes an angle of 45° with the incident beam and a reflected image of the slit may be seen through the telescope.
i. At this point, bring back the telescope to align in line with the collimator and lock it.
j. Release the Vernier lock and rotate it in clockwise direction by 45° and lock it again. Then the Vernier readings will be 0° and 360°. Now the grating is set in normal incidence mode.
k. Release the telescope and align the cross wires with any of the diffraction maxima and record the difference of the Vernier

2.6 గ్రేటింగ్ విభజన శక్తి

2.6 గ్రేటింగ్ విభజన శక్తి

గ్రేటింగ్ యొక్క విభజన శక్తిని పరిష్కరించాల్సిన తరంగదైర్ఘ్యాల వ్యత్యాసానికి సగటు తరంగదైర్ఘ్యం యొక్క నిష్పత్తిగా నిర్వచించబడింది.

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

రిసోల్వింగ్ పవర్ అనేది ఇచ్చిన ఆప్టికల్ పరికరం ద్వారా సమీపంలోని రెండు తరంగదైర్ఘ్యాలు ఎలా వేరు చేయబడతాయో కొలమానం.

తరంగదైర్ఘ్యం (λ) పెరిగితే లేదా తరంగదైర్ఘ్యం వ్యత్యాసం ($\Delta\lambda$) తగ్గినట్లయితే అధిక మరియు అధిక విభజన శక్తులు అవసరం.

అందువలన 10000Å, 10005Å కంటే 100Å, 105Å ఇది విభజించడానికి సులభం. అదే విధంగా 100Å, 101Å కంటే 100Å, 105Å. విభజించడం సులభం..

గ్రేటింగ్ సమీకరణం

$$(e + d)\sin\theta = n\lambda$$

తరంగదైర్ఘ్యంలో చిన్న మార్పు $d\lambda$ ను పరిగణించండి, దీని ఫలితంగా డిఫ్రాక్షన్ నమూనా యొక్క మార్పు $d\theta$ ద్వారా . అప్పుడు పై సమీకరణం అవుతుంది,,

$$(e + d)\sin(\theta + d\theta) = n(\lambda + d\lambda)$$

తరంగదైర్ఘ్యం మార్చబడిన కాంతి యొక్క కొత్త గరిష్ట మాగ్జిమా అది మొదటి మినిమాను దాటి ద్వితీయ గరిష్ట స్థాయికి చేరుకున్నప్పుడు మాత్రమే అసలు గరిష్టం నుండి స్పష్టంగా విభజించబడుతుంది.

N స్లిట్ గ్రేటింగ్ కోసం సెకండరీ మ్యాక్సిమా ప్రధాన గరిష్టం నుండి దూరం λ/N వద్ద జరుగుతుంది.

కాబట్టి λ మరియు $\lambda + d\lambda$ రిజల్యూషన్ యొక్క కనిష్ట దూరం కోసం షరతు ఇది

$$n\, d\lambda = \lambda/N$$

మరియు విభజన శక్తి ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$\frac{\lambda}{d\lambda} = nN$$

సారాంశంలో, అధిక ఆర్డర్ డిఫ్రాక్షన్ కోసం విభజన శక్తి ఎక్కువగా ఉంటుంది మరియు గ్రేటింగ్ యొక్క పెద్ద పరిమాణానికి కూడా ఇది పెద్దదిగా ఉంటుంది. (అనగా; గ్రేటింగ్‌పై ఉన్న మొత్తం లైన్ల సంఖ్యకు, అంగుళానికి పంక్తుల సంఖ్యకు సంబంధం లేదు). విభజన శక్తి గ్రేటింగ్ మూలకం యొక్క వెడల్పుతో సంబంధం లేకుండా ఉంటుంది.

2.6 ఫ్రెస్నెల్ హాఫ్ పీరియడ్ జోన్‌లు

ఫ్రెస్నెల్ జోన్‌లు అంతరాళంలో ఊహాత్మక ప్రాంతాలు, ఇక్కడ ప్రతి జోన్ స్థిరమైన ఫేజ్ యొక్క స్థానం మరియు వరుస జోన్‌లు స్థిరమైన ఫేజ్ వ్యత్యాసం π లేదా $\lambda/2$ అంతరాళంలో ప్రయాణించే తరంగాల మార్గ వ్యత్యాసంతో వేరు చేయబడతాయి. ఫ్రెస్నెల్ జోన్‌లతో ప్రత్యేకమైన లక్షణం మరియు ప్రయోజనం ఏమిటంటే, అవన్నీ ఒకే తలంలో ఉంటాయి.

readings with respect to original position as the angle of diffraction.

l. The wavelength of the light source is given by

$$\lambda = \frac{(e+d)\sin\theta_n}{n} = \frac{2.54 \times \sin\theta_n}{nN}$$

Here n is the order of the spectrum. N is the number of lines per inch on the grating.

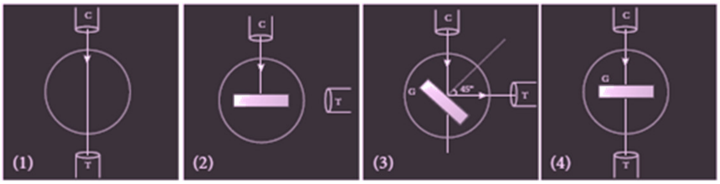


Figure (a) Normal incidence

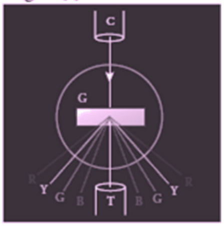


Figure (b) Angle of diffraction

Fig: Wavelength of light source using spectrometer and grating.

2.6 Resolving power of grating

Resolving power of a grating is defined as the ratio of the mean wavelength to the difference of the wavelengths that are to be resolved.

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

Resolving power is a measure of how two nearby wavelengths are separated by a given optical instrument.

Higher and higher resolving powers are required if the wavelength (λ) increases or if the wavelength difference ($\Delta\lambda$) is lowered.

Thus it is easier to resolve 100Å and 105Å than 10000Å and 10005Å. In the same way it is easier to resolve 100Å and 105Å than 100Å and 101Å.

The grating equation is

$$(e+d)\sin\theta = n\lambda$$

2.6 Resolving power of grating

P వద్ద ఉన్న పరిశీలకుడు చూసినట్లుగా తరంగదైర్ఘ్యం λ యొక్క మోనోక్రోమటిక్ లైట్ సోర్స్ ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన వేవ్ ఫ్రంట్ యొక్క ఆర్థోనార్మల్ మరియు ప్లానర్ క్రాస్ సెక్షన్‌ను పరిగణించండి.

పరిశీలకుడికి, లంబ దూరం $p = OP$ ఉండనివ్వండి. మొత్తం క్రాస్ సెక్షన్ ఫేజ్ మార్పుతో O ప్రారంభమయ్యే స్థిరమైన ఫేజ్ యొక్క జోన్‌లుగా విభజించబడనివ్వండి. రేఖాచిత్రం నుండి, వివిధ మండలాల మార్గం పొడవులు $OM_1 = p + \lambda/2, OM_2 = p + 2\lambda/2$ మొదలైనవి ఉంటాయి

తి జోన్ యొక్క వైశాల్యాన్ని ఈ క్రింది విధంగా లెక్కించవచ్చు.

జోన్-1 ప్రాంతం:

$$A_1 = \pi \times OM_1^2 = \pi(M_1P^2 - OP^2) = \pi\left[\left(p + \frac{\lambda}{2}\right)^2 - p^2\right]$$

λ^2 వంటి అధిక ఆర్డర్ నిబంధనలను నిర్లక్ష్యం చేయడం, ఇది అవుతుంది,

$$A_1 = \pi(p^2 + p\lambda + \lambda^2 - p^2) \simeq \pi p\lambda$$

జోన్-2 యొక్క ప్రాంతం:

$$A_2 = \pi OM_2^2 - \pi OM_1^2 = \pi\left\{[(p + \lambda)^2 - p^2] - \left[\left(p + \frac{\lambda}{2}\right)^2 - p^2\right]\right\}$$

ఇప్పుడు λ^2 వంటి అధిక ఆర్డర్ నిబంధనలను నిర్లక్ష్యం చేయడం,

$$A_2 = \pi[(p^2 + 2p\lambda + \lambda^2 - p^2) - (p^2 + p\lambda + \lambda^2 - p^2)] \simeq \pi p\lambda$$

అందువలన ప్రతి జోన్ యొక్క వైశాల్యం స్థిరంగా ఉంటుంది. ప్రాంతాన్ని స్థిరంగా ఉంచడానికి సంఖ్య పెరిగేకొద్దీ జోన్‌ల వెడల్పు తగ్గుతుందని ఇది సూచిస్తుంది.

P వద్ద వివిధ మండలాల నుండి వచ్చే తరంగాల యాంప్లిట్యూడ్

1. జోన్ యొక్క వైశాల్యానికి నేరుగా అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది
2. పరిశీలన పాయింట్ దూరానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది.
3. జోన్ ప్లేట్ మధ్యలో P బిందువుకు కలిపే రేఖకు మరియు సంబంధిత జోన్‌కు రేఖ చేరే బిందువు P కు మధ్య కోణం θ ఎక్కడ ఉంటుందో ఆబ్లిక్విటీ ఫ్యాక్టర్‌తో తగ్గుతుంది. $(1 + \cos\theta)$

వరుసగా జోన్-1, జోన్-2, జోన్-3 ... గుండా వెళ్ళిన తర్వాత బిందువుకు చేరే తరంగాల యాంప్లిట్యూడ్ $R_1, R_2, R_3, \ldots$ ని పరిగణించండి. అప్పుడు అన్ని తరంగాల కారణంగా ఏర్పడే యాంప్లిట్యూడ్ అనేది ఒక్కొక్క మండలాలను దాటి P చేరుకున్న తరంగాల యొక్క లీనియర్ సూపర్‌పొజిషన్.

బేసి సంఖ్యల మండలాల నుండి వచ్చే తరంగాలు నిర్మాణాత్మక జోక్యానికి దోహదపడతాయి మరియు మండలాల సరిసంఖ్య నుండి వచ్చినవి విధ్వంసక జోక్యానికి దోహదం చేస్తాయి కాబట్టి, ఫలిత యాంప్లిట్యూడ్ దీని ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది,

$$R = R_1 - R_2 + R_3 - R_4 + R_5 \ldots$$

ప్రతి జోన్ నుండి తరంగ యాంప్లిట్యూడ్ నిరంతరం తగ్గుతుంది కాబట్టి, ఏదైనా జోన్ వద్ద యాంప్లిట్యూడ్ దాని పొరుగు మండలాల నుండి వచ్చే సగటు యాంప్లిట్యూడ్ అని భావించవచ్చు. ఈ విధంగా

$$R_2 = \frac{R_1 + R_3}{2}$$

Consider a small change in wavelength by $d\lambda$, that results in a shift of diffraction pattern by $d\theta$. Then the above equation becomes,

$$(e + d)\sin(\theta + d\theta) = n(\lambda + d\lambda)$$

The new maxima of the wavelength shifted light will be clearly resolved from original maxima only when it just crosses the first minima and reaches up to the secondary maxima.

The secondary maxima for an N slit grating occurs at λ/N distance from the principal maxima.

Thus the condition for least distance of resolution of λ and $\lambda + d\lambda$ is

$$n\, d\lambda = \lambda/N$$

and the resolving power is given by

$$\frac{\lambda}{d\lambda} = nN$$

In summary, the resolving power is higher for higher order diffraction and it is also larger for larger size of grating. (i.e.; for the total number of lines on grating, not necessarily for the number of lines per inch). The resolving power is independent of the width of the grating element.

2.7 Fresnel's half period zones

Fresnel's zones are imaginary regions in space where each zone is a locus of constant phase and consecutive zones are separated by a constant phase difference of π or a path difference of $\lambda/2$ of the waves travelling in the space. An exclusive characteristic as well as advantage with Fresnel zones is that they all can lie in a single plane.

Consider an orthonormal and planar **cross section of a wavefront** produced by a monochromatic light source of wavelength λ as seen by an observer located at P.

For the observer, let $p = OP$ be the normal distance. Let the entire cross section be divided into zones of constant phase starting from O with a phase change of $\lambda/2$. From the diagram, the path lengths of various zones will be $OM_1 = p + \lambda/2$, $OM_2 = p + 2\lambda/2$ etc.

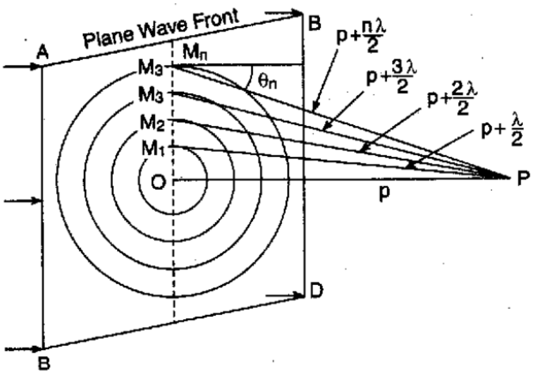


Fig: Fresnel's half period zones.

The area of each zone can be calculated as follows.

Area of zone-1:

$$A_1 = \pi \times OM_1^2 = \pi(M_!P^2 - OP^2) = \pi\left[\left(p + \frac{\lambda}{2}\right)^2 - p^2\right]$$

Neglecting the higher order terms like λ^2, this becomes,

$$A_1 = \pi(p^2 + p\lambda + \lambda^2 - p^2) \simeq \pi p\lambda$$

Area of zone-2:

$$A_2 = \pi OM_2^2 - \pi OM_1^2 = \pi\left\{[(p+\lambda)^2 - p^2] - \left[\left(p + \frac{\lambda}{2}\right)^2 - p^2\right]\right\}$$

Neglecting higher order terms like λ^2 gives,

$$A_2 = \pi[(p^2 + 2p\lambda + \lambda^2 - p^2) - (p^2 + p\lambda + \lambda^2 - p^2)] \simeq \pi p\lambda$$

Thus the area of each zone remains constant. This implies that the width of zones reduces as the number increases to keep the area constant.

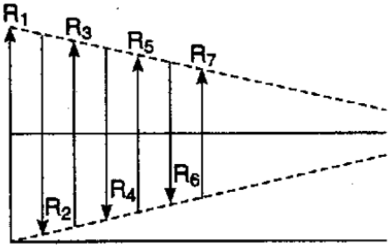


Fig: Amplitude of waves at P due to each zone.

The amplitude of waves at P reaching from various zones is

4. Directly proportional to the area of the zone
5. Inversely proportional to the distance of point of observation.

6. Decreases with obliquity factor $(1+\cos\theta)$ where θ is the angle between the line joining the center of zone plate to the point P and the line joining point P to the respective zone.

Consider $R_1, R_2, R_3, \dots$ to be the amplitude of waves reaching point P after passing through zone-1, zone-2, zone-3 … respectively. Then the resultant amplitude at P due to all the waves is a linear superposition of the waves crossing individual zones and reach P.
Since the waves from odd number of zones contribute to constructive interference and those from even number of zones contribute to destructive interference, the resultant amplitude is given by,

$$R = R_1 - R_2 + R_3 - R_4 + R_5 \dots$$

Since the amplitude of wave from each zone reduces continuously, one can assume that the amplitude at any zone is the average amplitude from its neighbouring zones. Thus

$$R_2 = \frac{R_1 + R_3}{2}$$

Then the resultant amplitude can be rewritten as,

$$R = \frac{R_1}{2} + \left(\frac{R_1}{2} - R_2 + \frac{R_3}{2}\right) + \left(\frac{R_3}{2} - R_4 + \frac{R_5}{2}\right) + R_5 \dots$$

Here the terms in brackets get cancelled and the resultant amplitude for odd number of nth zone is given by,

$$R = \frac{R_1}{2} + \frac{R_n}{2}$$

For even number of nth zone, the resultant amplitude is given by,

$$R = \frac{R_1}{2} + \frac{R_{n-1}}{2} - R_n$$

But since the amplitude from higher zones is negligible for larger n, one can write the resultant amplitude as,

$$R = \frac{R_1}{2}$$

Since the intensity varies as square of amplitude, the intensity received at point P will have only a fourth of the intensity from zone-1.

$$I = \frac{I_1}{4}$$

అప్పుడు ఫలిత యాంప్లిట్యూడ్ ని ఇలా తిరిగి వ్రాయవచ్చు,

$$R = \frac{R_1}{2} + \left(\frac{R_1}{2} - R_2 + \frac{R_3}{2}\right) + \left(\frac{R_3}{2} - R_4 + \frac{R_5}{2}\right) + R_5 \ldots$$

ఇక్కడ బ్రాకెట్లలోని నిబంధనలు రద్దు చేయబడతాయి మరియు n^{th} జోన్ యొక్క బేసి సంఖ్య కోసం ఫలిత యాంప్లిట్యూడ్ దీని ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది,

$$R = \frac{R_1}{2} + \frac{R_n}{2}$$

n^{th} జోన్ యొక్క సరి సంఖ్య కోసం, ఫలిత యాంప్లిట్యూడ్ దీని ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది,

$$R = \frac{R_1}{2} + \frac{R_{n-1}}{2} - R_n$$

కానీ పెద్ద n కోసం అధిక జోన్ల యాంప్లిట్యూడ్ చాలా తక్కువగా ఉంటుంది కాబట్టి, ఫలిత యాంప్లిట్యూడ్ ని ఇలా వ్రాయవచ్చు,

$$R = \frac{R_1}{2}$$

తీవ్రత విస్తృతి యొక్క వర్గం వలె మారుతూ ఉంటుంది కాబట్టి, P పాయింట్ వద్ద స్వీకరించబడిన తీవ్రత జోన్-1 నుండి నాల్గవ వంతు తీవ్రతను మాత్రమే కలిగి ఉంటుంది.

$$I = \frac{I_1}{4}$$

దీన్ని మరింత మెరుగుపరచడానికి, నిర్మాణాత్మక లేదా విధ్వంసక భాగాలను పూర్తిగా నిరోధించడం ఒక అవకాశం.

2.7 జోన్ ప్లేట్

జోన్ ప్లేట్ అనేది ప్రత్యామ్నాయ ఫ్రెస్నెల్ జోన్లు పారదర్శక ఉపరితలంపై నల్లగా పెయింట్ చేయబడిన పరికరం. మొదటి జోన్ పారదర్శకంగా ఉంటే, దానిని పాజిటివ్ జోన్ ప్లేట్ అని మరియు అపారదర్శకంగా ఉంటే, దానిని నెగటివ్ జోన్ ప్లేట్ అని అంటారు. $\lambda/2$ యొక్క అదనపు మార్గం పొడవును పరిచయం చేసే పారదర్శక పదార్థంతో ప్రత్యామ్నాయ మండలాలను చిత్రించడం మరొక ప్రత్యామ్నాయం. అప్పుడు జోన్ ప్లేట్ యొక్క ప్రాథమిక ఆపరేషన్‌ను ప్రభావితం చేయకుండా ప్రతి జోన్ నుండి కాంతి మరొక చివరకి ప్రసారం చేయబడుతుంది. దీనిని ఫేజ్ రివర్సల్ జోన్ ప్లేట్ అంటారు.

కాంతి మూలం S , జోన్ ప్లేట్ మరియు .P పరిశీలన పాయింట్ యొక్క నిలువు క్రాస్-సెక్షన్‌ను పరిగణించండి. మోనోక్రోమటిక్ పాయింట్ లైట్ సోర్స్ ఇక్కడ ఉంది. XY జోన్ ప్లేట్ ఎగువ సగం సూచిస్తుంది. జోన్ ప్లేట్ యొక్క కేంద్రం O. మూలం యొక్క స్పష్టమైన చిత్రం ఏర్పడిన పరిశీలన పాయింట్. నుండి ప్రారంభమయ్యే హాఫ్ పీరియడ్ జోన్ల సరిహద్దులు$M_1, M_2, \ldots M_n$

ఆబ్జెక్ట్ దూరం మరియు ఇమేజ్ దూరం వరుసగా $OS = a, OP = b$ ఉంటే రేఖాచిత్రం నుండి,

$$SM_1 + PM_1 = a + b + \lambda/2$$

$$SM_2 + PM_2 = a + b + 2\lambda/2$$

$$SM_n + PM_n = a + b + n\lambda/2$$

To improve it further, one possibility is to block either constructive or destructive component completely.

2.8 Zone plate

Zone plate is a device where alternative Fresnel zones are painted black on a transparent surface. If the first zone is transparent, it is called positive zone plate and if it is opaque, it is called negative zone plate. Another alternative is to paint the alternative zones with transparent material that introduces an additional path length of $\lambda/2$. Then the light from every zone will be transmitted to the other end without effecting the basic operation of zone plate. This is called phase reversal zone plate.

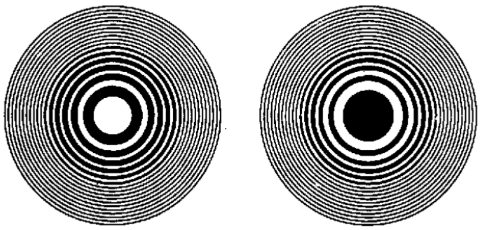


Fig: Positive and negative zone plates.

Working principle:

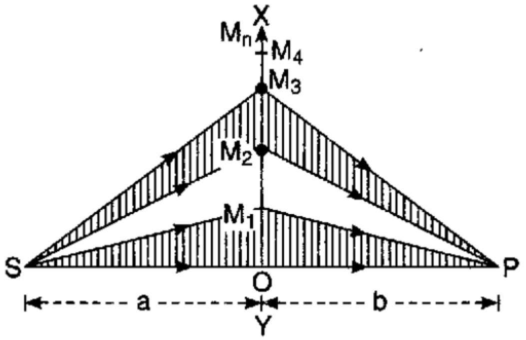


Fig: Working of zone plate

Consider a vertical cross-section of a light source, zone plate and point of observation. Here S be the monochromatic point light source. XY represents the upper half of the zone plate. O is the center of the zone plate. P is the point of observation where a clear

రేఖాచిత్రం నుండి పై సమీకరణం యొక్క LHSని ఇలా వ్రాయవచ్చు

$$SM_n + PM_n = \sqrt{a^2 + r_n^2} + \sqrt{b^2 + r_n^2}$$

a మరియు b తో పోలిస్తే చిన్న r_n విలువలకు ద్విపద విస్తరణ వ్రాయవచ్చు,

$$SM_n + PM_n = a\left(1 + \frac{r_n^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{2}} + b\left(1 + \frac{r_n^2}{b^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Rightarrow SM_n + PM_n \simeq a\left(1 + \frac{r_n^2}{2a^2}\right) + b\left(1 + \frac{r_n^2}{2b^2}\right) = a + b + \frac{r_n^2}{2a} + \frac{r_n^2}{2b}$$

పోల్చి చూస్తే,

$$SM_n + PM_n = a + b + \frac{n\lambda}{2} = a + b + \frac{r_n^2}{2a} + \frac{r_n^2}{2b}$$

$$\Rightarrow \frac{r_n^2}{2}\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right) = \frac{n\lambda}{2}$$

లేదా

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{n\lambda}{r_n^2}$$

ఆప్టికల్ ఇమేజింగ్ సిస్టమ్ యొక్క సైన్ కన్వెన్షన్‌ని ఉపయోగించడం ద్వారా, పై సమీకరణం అవుతుంది,

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{n\lambda}{r_n^2}$$

కుంభాకార లెన్స్ సిస్టమ్ ఈక్వేషన్‌తో పోల్చడం

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f}$$

ఇస్తుంది,

$$f = \frac{r_n^2}{n\lambda}$$

అందువలన జోన్ ప్లేట్ ఒక కుంభాకార కటకం వలె పనిచేస్తుంది, దీని ఫోకల్ లెన్త్ జోన్ వ్యాసార్థంలో పెరుగుదలతో పెరుగుతుంది మరియు కాంతి మూలం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం మరియు జోన్ల సంఖ్య పెరుగుదలతో తగ్గుతుంది.n^{th}

వైడ్ యాంగిల్ లెన్స్‌ని (తక్కువ ఫోకల్ లెంగ్త్‌తో) డెవలప్ చేయడానికి, చిన్న రేడియాలలో ఎక్కువ సంఖ్యలో జోన్‌లను అమర్చాలి అనే వాస్తవాన్ని ఈ చర్చ సూచిస్తుంది.

https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1908447116	

image of the source is formed. $M_1, M_2, \dots M_n$ be the boundaries of half period zones starting from O.

If $OS = a$ and $OP = b$ are the object distance and image distance respectively then from the diagram,

$$SM_1 + PM_1 = a + b + \lambda/2$$

$$SM_2 + PM_2 = a + b + 2\lambda/2$$

$$SM_n + PM_n = a + b + n\lambda/2$$

From the diagram the LHS of above equation can be written as

$$SM_n + PM_n = \sqrt{a^2 + r_n^2} + \sqrt{b^2 + r_n^2}$$

Upon binomial expansion for smaller values of r_n compared to a and b, one can write,

$$SM_n + PM_n = a\left(1 + \frac{r_n^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{2}} + b\left(1 + \frac{r_n^2}{b^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Rightarrow SM_n + PM_n \simeq a\left(1 + \frac{r_n^2}{2a^2}\right) + b\left(1 + \frac{r_n^2}{2b^2}\right) = a + b + \frac{r_n^2}{2a} + \frac{r_n^2}{2b}$$

Upon comparison, one obtains,

$$SM_n + PM_n = a + b + \frac{n\lambda}{2} = a + b + \frac{r_n^2}{2a} + \frac{r_n^2}{2b}$$

$$\Rightarrow \frac{r_n^2}{2}\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right) = \frac{n\lambda}{2}$$

or

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{n\lambda}{r_n^2}$$

By using the sign convention of optical imaging system, the above equation becomes,

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{n\lambda}{r_n^2}$$

Comparing it with the convex lens system equation

2.7 కాంతి యొక్క రెక్టిలినియర్ ప్రసారం యొక్క వివరణ

2.7 కాంతి యొక్క రెక్టిలినియర్ ప్రసారం యొక్క వివరణ

వేవ్‌ఫ్రంట్ యొక్క హ్యూజెన్స్ సూత్రాన్ని రెండు స్టేట్‌మెంట్‌లలో ప్రదర్శించవచ్చు

1. వేవ్‌ఫ్రంట్‌లోని ప్రతి పాయింట్ సెకండరీ వేవ్‌లెట్‌ల మూలంగా పనిచేస్తుంది.

2. వేవ్‌ఫ్రంట్ ఈ ద్వితీయ వేవ్‌లెట్ల ఎన్వలప్‌గా ముందుకు కదులుతుంది.

ఈ రెండు ఊహలతో, హ్యూజెన్స్ సూత్రం ప్రతిబింబం మరియు వక్రీభవన దృగ్విషయాన్ని బాగా వివరించగలిగింది, అయితే వేవ్‌ఫ్రంట్ ఎందుకు ముందుకు దిశలో కదులుతుందో, ఎందుకు వెనుకకు ఎందుకు కదులదో వివరించలేకపోయింది. అందువల్ల ఇది డిఫ్రాక్షన్ దృగ్విషయాన్ని వివరించడంలో కూడా విఫలమైంది.

సెకండరీ వేవ్‌లెట్స్ జోక్యానికి లోనవుతాయని ఫ్రెస్నెల్ ఒక అదనపు ప్రతిపాదన ద్వారా హ్యూజెన్స్ సూత్రాన్ని విస్తరించాడు. దీని ఫలితంగా దాని రెక్టిలినియర్ మోషన్ నుండి కాంతి అసాధారణంగా వంగి ఉంటుంది. తరువాత,ఫియట్‌ఆబ్లిక్విటీ ఫ్యాక్టర్‌ని ప్రవేశపెట్టింది. ఆ విధంగా వెనుకకు వ్యాపించే ద్వితీయ వేవ్‌లెట్ల కోసం, వాలుగా ఉండే కారకం చాలా తక్కువగా ఉంటుంది మరియు ముందుకు కదిలే వేవ్‌ఫ్రంట్‌కు మాత్రమే దారితీస్తుంది.

1819లో, ఫ్రెంచ్ అకాడమీ ఆఫ్ సైన్సెస్ డిఫ్రాక్షన్ అనే అంశంపై గ్రాండ్ ప్రిక్స్‌ను ప్రకటించింది. కాంతి యొక్క కార్పస్కులర్ సిద్ధాంతం యొక్క బలాన్ని స్థాపించడం సందర్భం యొక్క లక్ష్యం. కానీ ఫ్రెస్నెల్ డిఫ్రాక్షన్ దృగ్విషయాన్ని వివరించే కాంతి యొక్క తరంగ సిద్ధాంతంపై తన గణిత గణనలతో పోటీకి దరఖాస్తు చేసుకున్నాడు.

పాయిసన్ సభ్యునిగా ఆరాగో కమిటీకి నేతృత్వం వహించారు. పాయిసన్ కార్పస్కులర్ సిద్ధాంతానికి బలమైన మద్దతుదారు. అతని వాదనలకు మద్దతుగా, అతను ఫ్రెస్నెల్ సిద్ధాంతాన్ని వృత్తాకార అడ్డంకికి విస్తరించాడు. వృత్తాకార అడ్డంకి యొక్క రేఖాగణిత నీడ మధ్యలో ఒక ప్రకాశవంతమైన ప్రదేశం ఉంటుందని అతను ఫలితంగా వచ్చాడు. అతను దీనిని హాస్యాస్పదంగా భావించాడు మరియు సిద్ధాంతాన్ని తిరస్కరించాలని కోరుకున్నాడు. కానీ అరాగో ఫలితాన్ని పరీక్షించాలనుకున్నాడు మరియు ప్రయోగాత్మక ఫలితాలు రేఖాగణిత నీడ మధ్యలో ఒక ప్రకాశవంతమైన ప్రదేశాన్ని చూపించాయి. ఫ్రెస్నెల్ పోటీలో గెలిచాడు మరియు అతని కార్పస్కులర్ సిద్ధాంతం ద్వారా సైన్స్ కమ్యూనిటీపై న్యూటన్ నియంత్రణను అధిగమించడం ద్వారా కాంతి యొక్క వేవ్ థియరీకి తలుపులు తెరిచాడు. త్వరలో కార్పస్కులర్ సిద్ధాంతం మెయిన్ స్ట్రీమ్ ఫిజిక్స్ నుండి నిర్మూలించబడింది.

డిఫ్రాక్షన్ దృగ్విషయాన్ని వివరించడంలో ఫ్రెస్నెల్ సిద్ధాంతం విజయవంతమైనప్పటికీ, ఇది విస్తృత స్థాయిలో వేవ్‌ఫ్రంట్ యొక్క రెక్టిలినియర్ మోషన్‌ను పరిగణించింది. తరువాత కిర్చోఫ్ ఒక పూర్తి తరంగ సమీకరణ ఆధారిత గణిత ఫార్ములిజాన్ని అభివృద్ధి చేసాడు, ఇది కాంతి యొక్క డిఫ్రాక్షన్ మరియు రెక్టిలినియర్ ప్రసారాన్ని వివరిస్తుంది.

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f}$$

gives,

$$f = \frac{r_n^2}{n\lambda}$$

Thus zone plate acts as a convex lens whose focal length increases with an increment in radius of nth zone and decreases with an increment in number of zones and wavelength of the light source.

This discussion points to the fact that to develop a wide angle lens (with low focal length), one needs to have more number of zones fitted into small radii.

2.9 Explanation of rectilinear propagation of light

Huygens principle of wavefront can be presented in two statements as

1. Every point on the wavefront acts as a source of secondary wavelets.

2. The wavefront moves forward as an envelope of these secondary wavelets.

With these two assumptions, Huygens principle was able to explain the reflection and refraction phenomenon well but could not explain why wavefront moves only in forward direction, why not in backward direction. Thus it also failed to explain the diffraction phenomenon.

Fresnel extended the Huygens principle by an additional postulate that the secondary wavelets undergo interference. This results in an unusual bending of light from its rectilinear motion. Later, Fiat has introduced the obliquity factor. Thus for backward propagating secondary wavelets, obliquity factor is negligibly low and results in only forward moving wavefront.

E - Corner

https://www.mathpages.com/home/kmath636/kmath636.htm
https://wiki.seg.org/wiki/Diffraction/es
https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Fresnel/
Wave Optics by Suresh Garg, Sanjay Gupta, C. K. Ghosh, PHI Learning (2012)
https://en.wikipedia.org/wiki/Huygens%E2%80%93Fresnel_principle

2.8 కుంభాకార లెన్స్‌తో జోన్ ప్లేట్ యొక్క పోలిక

సారూప్యతలు

కుంభాకార లెన్స్	జోన్ ప్లేట్
1. కుంభాకార లెన్స్ ఫోకస్ కేంద్రీకరించే చర్యను కలిగి ఉంటుంది.	1. జోన్ ప్లేట్ కూడా ఫోకస్ కేంద్రీకరించే చర్యను ప్రదర్శిస్తుంది.
2. కుంభాకార లెన్స్ నిజమైన చిత్రాన్ని ఏర్పరుస్తుంది.	2. జోన్ ప్లేట్ కూడా నిజమైన చిత్రాన్ని ఏర్పరుస్తుంది.
3. ఫోకల్ పొడవు తరంగదైర్ఘ్యంపై ఆధారపడి ఉంటుంది.	3. ఫోకల్ పొడవు తరంగదైర్ఘ్యంపై ఆధారపడి ఉంటుంది.
4. కుంభాకార లెన్స్ క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్‌కు గురవుతుంది.	4. జోన్ ప్లేట్ కూడా క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్‌కు గురవుతుంది.
5. ఫోకల్ లెంగ్త్ ఫార్ములా జోన్ ప్లేట్ మాదిరిగానే ఉంటుంది. $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{i}{f}$	5. ఫోకల్ లెంగ్త్ ఫార్ములా ఒక కుంభాకార లెన్స్ మాదిరిగానే ఉంటుంది. $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{n\lambda}{r_n^2}$

In 1819, French Academy of Sciences has announced a grand prix on the topic of diffraction. The aim of the context was to establish the strength of corpuscular theory of light. But Fresnel applied to the contest with his mathematical calculations on wave theory of light explaining the diffraction phenomenon.

The committee was headed by Arago with Poisson as a member. Poisson was a strong supporter of corpuscular theory. To support his arguments, he extended the theory of Fresnel to a circular obstacle. He arrived at a result that there will be a bright spot at the center of the geometrical shadow of the circular obstacle. He found this ridiculous and wanted to reject the theory. But Arago wanted to test the result and the experimental results showed a bright spot at the center of the geometric shadow. Fresnel won the contest and opened doors to wave theory of light by overcoming Newton's control over the science community through his corpuscular theory. Soon corpuscular theory was eradicated from main stream Physics.

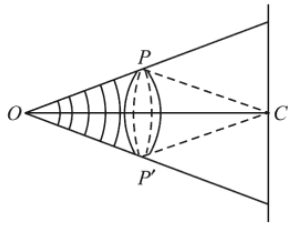


Fig: Poisson spot experiment.

Though the Fresnel's theory was successful in explaining the diffraction phenomenon, it has considered rectilinear motion of wavefront on a broad scale. Later Kirchoff developed a complete wave equation based mathematical formalism that explains the diffraction as well as the rectilinear propagation of light.

2.8 కుంభాకార లెన్స్‌తో జోన్ ప్లేట్ యొక్క పోలిక

తేడాలు/విశిష్ట లక్షణాలు

కుంభాకార లెన్స్	జోన్ ప్లేట్
1. ఫోకస్ చర్య కాంతి కిరణాల వక్రీభవనం కారణంగా ఉంటుంది.	1. ఫోకస్ చర్య కాంతి తరంగాల డిఫ్రాక్షన్ కారణంగా ఉంటుంది.
2. మోనోక్రోమటిక్ లైట్ సోర్స్ కోసం, కుంభాకార లెన్స్ ఒకే ఫోకస్ ని కలిగి ఉంటుంది.	2. జోన్ ప్లేట్‌లో మల్టిపుల్ ఫోసిస్ ఎట్ మొదలైనవి ఉన్నాయి. $f = \frac{r_n^2}{n\lambda}, \frac{r_n^2}{3n\lambda}, \frac{r_n^2}{5n\lambda}$
3. ఫోకల్ పాయింట్ వద్ద తీవ్రత గరిష్టంగా ఉంటుంది.	3. అధిక తీవ్రతతో ప్రాథమిక ఫోకస్ తో అన్ని focie మధ్య తీవ్రత పంపిణీ చేయబడుతుంది.
4. వైలెట్ ఫోకల్ లెంగ్త్ కుంభాకార లెన్స్‌లో ఎరుపు రంగు కంటే తక్కువగా ఉంటుంది.	4. జోన్ ప్లేట్‌లోని వైలెట్ కంటే ఎరుపు రంగు ఫోకల్ పొడవు తక్కువగా ఉంటుంది.
5. కన్వెక్స్ లెన్స్ కనిపించే ప్రాంతంలో మాత్రమే పని చేస్తుంది.	5. మైక్రోవేవ్‌ల నుండి x-కిరణాల వరకు అన్ని బ్యాండ్‌ల ఫ్రీక్వెన్సీల కోసం జోన్ ప్లేట్ పనిచేస్తుంది.
6. కుంభాకార లెన్స్ ఒక సమయంలో వర్చువల్ ఇమేజ్ మరియు రియల్ ఇమేజ్‌ని ఉత్పత్తి చేయదు.	6. జోన్ ప్లేట్ పుటాకార లెన్స్ మాదిరిగానే వర్చువల్ ఇమేజ్‌ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది మరియు ఒక సమయంలో నిజమైన ఇమేజ్‌ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది.
7. ఫోకస్ వద్దకు వచ్చే అన్ని కిరణాలు ఒకే ఫేజ్ ను కలిగి ఉంటాయి.	7. ప్రత్యామ్నాయ మండలాల నుండి వచ్చే కిరణాలు ఒక ఫేజ్ లేదా మార్గ వ్యత్యాసంతో విభిన్నంగా ఉంటాయి.$2\pi\lambda$

Further Reading:

https://egyankosh.ac.in/handle/123456789/80992 https://egyankosh.ac.in/handle/123456789/29381 Diffraction Physics - J. M. Cowley Fundamentals of Physics – II R. Shankar	

2.10 Comparison of zone plate with convex lens

Similarities

Convex lens	Zone plate
1. Convex lens has focusing action.	1. Zone plate also exhibits focusing action.
2. Convex lens forms a real image.	2. Zone plate also forms a real image.
3. Focal length depends on the wavelength.	3. Focal length depends on the wavelength.
4. Convex lens suffers chromatic aberration.	4. Zone plate also suffers chromatic aberration.
5. Focal length formula is similar to that of zone plate. $$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{i}{f}$$	6. Focal length formula is similar to that of a convex lens. $$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{n\lambda}{r_n^2}$$

Differences/distinguishing features

Convex lens	Zone plate
1. Focusing action is due to the refraction of light rays.	1. Focusing action is due to the diffraction of light waves.
2. For a monochromatic light source, the convex lens has single focus.	2. Zone plate has multiple foci at $f=\frac{r_n^2}{n\lambda},\frac{r_n^2}{3n\lambda},\frac{r_n^2}{5n\lambda}$ etc.
3. The intensity at focal point is maximum.	3. The intensity is distributed among all the foci with primary focus at higher intensity.
4. Focal length of violet is less than that of red in a convex lens.	4. Focal length of red is less than that of violet in zone plate.

5. Convex lens works only in visible region.	5. Zone plate works for all bands of frequencies from microwaves to x-rays.
6. Convex lens can not produce virtual image and real image at a time.	6. Zone plate produces virtual image similar to concave lens and at a time produces real image.
7. All the rays arrive at the focus will have same phase.	7. The rays arriving from alternate zones differ by a phase of 2π or a path difference of λ.

Solved Problems and Exercises

1. Consider a monochromatic light of wavelength λ incident upon a single slit. If the slit width be 4 λ, calculate the position of first minimum

Sol: We know the intensity distribution for single slit is $I = I_0 \sin^2 \alpha/\alpha^2$

Where $\alpha = \frac{\pi e sin\theta}{\lambda}$

If $\alpha = \pm n\pi$ where n=1,2,3...,then I = 0 gives minima

For first minima, n=1 => $\alpha = \pm\pi = \frac{\pi e sin\theta}{\lambda}$ =>

$sin\theta = \pm\frac{\lambda}{e} = \pm\frac{1}{4}$

=> $\theta = \sin^{-1} \pm\frac{1}{4}$ = 14.5^0

2. A plane light wave of wavelength $600nm$ is incident normally on a grating consisting of 5 identical parallel slits a distance d apart. Find the ratio of intensity of principal maximum to the intensity obtained for a single slit.

Sol: We know the intensity distribution for single slit is $I = I_0 \sin^2 \alpha/\alpha^2$

And the intensity distribution for N slit is $I_N = N^2 I_0 \sin^2\alpha/\alpha^2$

$$\Rightarrow \frac{I_N}{I} = N^2 = 5^2 = 25$$

3. A transmission type grating having 500 lines/mm is illuminated with visible light at normal incidence to the plane of the grooves. What wavelength appear at a diffraction angle of 45^0 and what colours are they?

Sol : We have condition for principal maxima is

$(e+d)sin\theta = \pm n\lambda$ where n= 0,1,2,3.... (Grating equation)

Given 1mm grating has 500 lines => $500(e+d)$ =1mm

=> $(e+d) = \frac{1}{500} = 0.002\ mm = 0.0002\ cm$

=> At a diffraction angle of 45^0, the wavelength are

$\lambda = \frac{(e+d)sin\theta}{n} = 0.0002 \times \frac{sin45^0}{n} = \frac{0.00014}{n}\ cm = \frac{14000}{n} A^0$

For visible light , we get following colours

$\lambda_1 = 7000\ A^0$ for n=2 ,red colour

$\lambda_2 = 4666\ A^0$ for n=3 ,green colour

$\lambda_1 = 3500\ A^0$ for n=4 ,red colour

4. Calculate the radius of 50th ring on a zone plate which behaves like a convex lens of focal length 50cm for light of wavelength λ=5000 A^0

Sol: The radius of nth ring on a zone plate is $r_n = \sqrt{n\lambda f} = \sqrt{50 \times 5000\ \times 10^{-8} \times 50}$ $= \sqrt{0.125}$ = 0.353 cm

5. How many half period elements are contained in circular plane wave front of radius 1cm for a wavelength 5 X10^{-5} cm with respect to a point 50 cm aways.

Sol. The radius of nth half period zone is given by

$$r_n^2 = pn\lambda \quad => n = \frac{r_n^2}{p\lambda} = \frac{1}{50 \times 5\ X10^{-5}} = 400$$

6. Let λ be the wavelength of incident light. The diffraction pattern of a circular aperture of dimension r_0 will transform from Fresnel to Fraunhofer region if the screen distance z is IIT JAM 2021

a) $z >> \frac{r_0^2}{\lambda}$ b) $z >> \frac{\lambda^2}{r_0}$ c) $z << \frac{\lambda^2}{r_0}$ d) $z << \frac{r_0^2}{\lambda}$

Ans: a

Solution: The quadratic phase function for Fraunhofer region is $e^{ikr_0^2/z} \approx 1$

This will happen only when $z >> \frac{kr_0^2}{2} \Rightarrow z >> \frac{r_0^2}{\lambda}$ as $k = 2\pi/\lambda$

7. White light is incident on a grating G1 with groove density 600 lines/mm and width 50 mm.A small portion of the diffracted light is incident on another grating G2 with groove density 1800 lines/mm and width 15 mm. The resolving power of the combined system is IIT JAM 2021

(a) 3×10^3 (b) 57×10^3 (c) 81×10^7 (d) 108×10^5

Ans.: (c)

Solution: $R_1 = n_1N_1 = 1\times N_1 = N_1 = 600\times50$

$R_2 = n_2N_2 = 1\times N_2 = N_2 = 1800\times15$

$R = R_1R_2 = 81\times10^7$

8. The following figure shows a double slit Fraunhofer diffraction pattern produced by two slits, each of width a separated by a distance b, a < b .

Which of the following statements are correct?

(a) Reducing a increases the separation between consecutive primary maxima

(b) Reducing a increases the separation between consecutive secondary maxima
(c) Reducing b increases the separation between consecutive primary maxima
(d) Reducing b increases the separation between consecutive secondary maxima Ans.: (a) and (d)

IIT JAM 2020

Sol: The minima condition for double slit Fraunhofer diffraction is a $\sin\theta = n\lambda$

$\Rightarrow$ where a is the width of slit. Reducing ‘ a ’ increases the separation between diffraction minima i.e. increases the separation between consecutive primary maxima. The condition of interference maxima is $b \sin\theta = m\lambda$, where b is the separation between slits. The position of interference maxima gives the separation between secondary maxima. Reducing ‘b ’ increases the separation between consecutive secondary maxima. The correct answer is option (a) and (d).

9. For a crystal having 3 nm spacing between the planes of its atoms, the maximum number of orders at the wave length 1nm are

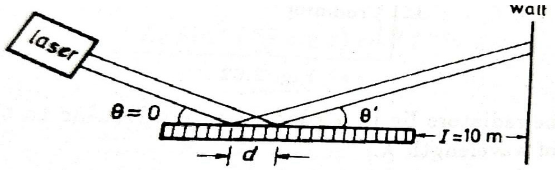
a) 3 b) 4 c)7 d)6

Ans: d

Solution: We have $2d\sin\theta = n\lambda$ and $\sin\theta \leq 1$

$\Rightarrow \frac{n\lambda}{2d} \leq 1 \Rightarrow n \leq \frac{2d}{\lambda} = \frac{2\times3}{1} \leq 6$

10. A LASER light is grazing on to a metal scale (Distance between two consecutive grooves is 1mm). The light reflects from the surface of the ruler and is projected on to a vertical wall 5 meters away. Find the vertical separation on the wall of zeroth order first order spot of the pattern.



Credit : ISBN 81-87169-19-2 by Bai Gui-ru, GuoGuang-can& Lim

Sol: The path difference between reflected light rays from fig., is given by

$\Delta = d(cos\theta - cos\theta') = d(1 - cos\theta')$ (As the light is grazing $\theta \approx 0^0$)

For diffraction maxima occur, $\Delta = n\lambda$ => $cos\theta' = 1 - \frac{n\lambda}{d}$

Zeroth spot occurs when n = 0 => $cos\theta' = 1$ => $\theta' = 0$

First order spot occurs when n = 1 => $cos\theta' = 1 - \frac{6.3\times10^{-5}cm}{0.1cm}$

- ⇨ $\theta' = \cos^{-1}(0.99937) = 2.033$
- ⇨ The vertical separation between zeroth and first order spots is

  $x = l \times tan\theta' = 10 \times \tan(2.033) = 0.35\ m$

MCQs

1. The total number of lines a grating must have, in order to separate two wavelengths 8790 A^0 and 8810 A^0 in the 4th order is

   a. 110 b. 220 c. 440 d. 880

   HCU 2021

   Ans:a

2. A monochromatic light of wavelength λ is falling normally on a diffraction grating with period d. If the angle between the direction to the first and second order of the Fraunhofer maxima is $\Delta\theta$, the wavelength of the light is

a. $dsin\Delta\theta/\sqrt{5 - 4\ cos\Delta\theta}$ b. $dsin\Delta\theta/\sqrt{5 - 4\ cos^2\Delta\theta}$

c. $dsin\Delta\theta/\ cos\Delta\theta$ d. $dsin\Delta\theta$

HCU 2019

Ans: a

3. Maximum number of orders available with a grating is
a) independent of grating element. b) directly proportional to grating element
c) inversely proportional to grating element d) directly proportional to wavelength

AUCET 2020

Ans: b

4. The width of a single slit which produces its first minimum at 60° for 6000 A^0 wavelength is
a) 0.2 μm b) 4 μm c) 0.4 μm d) 2 μm
Ans: d

5. If e be the slit width of two slits which are at distance d apart and D be the distance between slits and a screen. we observe maximum intensity at a distance x on the screen from its center when(n is an integer and λ is the wavelength)
a)$x = n\lambda d/D$ b) $x = n\lambda D/d$ c) $x = ndD/\lambda$ *d) None*
Ans: b

6. Interference and diffraction of light supports its
a) Wave nature b) Quantum nature
c) transverse nature d) Electromagnetic character

Ans: a

7. The diffraction phenomenon was first interpreted by
a) Fresnel b)Huygen c)Fraunhofer d)Gabor
Ans: a

8. A ruled metal scale acts as a
a) Diffraction grating b) Transmission grating c)Reflection grating d)both a&c
Ans: d

9. In case of a zone plate, the rays are brought to focus by
a) Diffraction b) Reflection c) Refraction d) All

Ans: a

10. Dispersive power gives The angular spacing between minima of two wavelengths can be given by

a) Resolving power b) Dispersive power c) Both d)None

Ans: b

11. Which of the following statement is true

i)The resolving power of a grating spectrograph can be improved by recording the spectrum in the lowest order

ii) If number of lines on grating increases, the angular spacing between maxima of two wavelengths increases

a) Both are true c)Statement i) is true and ii) is false

b) Statement i) is false and ii) is True d) Both are true

Ans: b

12. The number of subsidiary maxima between consecutive principal maxima in a diffraction grating is (if N is total number of rulings on grating)

a) N b) N-1 c)N-2 d) $\frac{N}{2}$

Ans: c

Grade your understanding

1. All Fresnel's half period zones for a circular aperture have equal areas [ ]
2. A Plane transmitting grating can be used to determine the wavelength of the spectrum of mercury [ ]
3. A Prism forms many number of Spectra of different orders [ ]
4. The resolving power of prism is smaller than the resolving power of grating [ ]
5. The wave front incident on an obstacle is a plane in case of Fraunhofer diffraction [ ]
6. The amount of bending of light increases if the size of obstacle increases [ ]

7. For a point light source, the electric field vibrations of light wave are distributed spherically [ ]

8. Lines on a transmission grating can act as diffraction slits [ ]

9. Wave trains from a source, having time delay but in same direction are equivalent to those started at same time but having phase shift [ ]

10. To produce diffraction at single slit, the direction of electric field vibration is parallel to slit [ ]

11. Fraunhofer diffraction is called far field diffraction, whereas Fresnel diffraction is called near field diffraction [ ]

12. The intensities of subsidiary maxima between consecutive principal maxima in a grating are identical [ ]

1.Yes 2. Yes 3. No 4.Yes 5. Yes 6. No 7.Yes 8. No 9.Yes 10. No 11. Yes 12.Yes

Glossary

Glossary	
Amplitude	Maximum extent of a vibration measured from equilibrium
Angular Shift	Shift along a curved path
Concave lens	Lens having at least one surface curved inwards
Convex lens	Lens having at least one surface curved outwards
Grating	A multi slit surfaced optical element which provides angular dispersion
Isosceles triangle	A triangle having two sides of equal lengths
Path difference	Difference in the physical path traversed by two waves

Plane diffraction	The diffraction of light caused due to a plane optical material
Point source	A source of light that is concentrated at a point without special extension
Principal maxima	The brightest fringe formed at center/ along normal to the slit
Ray	A line with fixed starting point but with no end point
Rectilinear	Relating to a straight line
Resolving power	The ability of distinguishing small or closely adjacent images
Slit	A narrow /sharp opening
Superposition	Combining of two or more waves at same place and same time
wavelet	A wave like oscillation start from zero amplitude-then increasing to maximum and later decreases to zero
wavefront	The locus of points with constant amplitude
Spatially tilted wave train	Wave trains travelling in different orientations Unpolarized light
Zone plate	Radially symmetric rings used to focus a light

UNIT-3

POLARIZATION

పోలరైజేషన్

CHAPTER

3 పోలరైజేషన్

శిక్షణ లక్ష్యాలు

ఈ అధ్యాయంలో విద్యార్థులు ఈ విషయాలు నేర్చుకుంటారు

1. ధృవణకాంతిని ఉత్పత్తి చేసే వివిధ పద్ధతులు మరియు వాటిని నియంత్రించే చట్టాలు.
2. నికోల్ ప్రిజం నిర్మాణం, పని మరియు అప్లికేషన్లు.
3. క్వార్టర్ వేవ్ ప్లేట్, హాఫ్ వేవ్ ప్లేట్ మరియు వాటి అప్లికేషన్లు.
4. ఆప్టికల్ యాక్టివిటీ కొలత మరియు LCDలు

అభ్యసన ఫలితాలు

ఈ పాఠం పూర్తయ్యేసరికి విద్యార్థులు

1. ధృవణకాంతిని ఉత్పత్తి చేయడానికి వివిధ పద్ధతులను జాబితా చేయగలరు.
2. నికోల్ ప్రిజం, క్వార్టర్ వేవ్ ప్లేట్, హాఫ్ వేవ్ ప్లేట్ మరియు LCDల పనిని వివరించగలరు.
3. వివిధ రకాల ధృవణకాంతిని ఉత్పత్తి చేయడానికి క్వార్టర్ వేవ్ ప్లేట్, హాఫ్ వేవ్ ప్లేట్, నికోల్ ప్రిజం ఉపయోగించగలరు.
4. ధృవణకాంతి ఉత్పత్తి మరియు విశ్లేషణలో సగం నీడ పరికరం మరియు ఇతర ధృవణపరికరాల అవసరాన్ని గుర్తించగలరు.
5. ఇచ్చిన కాంతి మూలం యొక్క ధృవణస్థితిని గుర్తించడానికి క్వార్టర్ వేవ్ ప్లేట్, హాఫ్ వేవ్ ప్లేట్ మరియు నికోల్ ప్రిజం యొక్క వివిధ కలయికలను జస్టిఫై చేయగలరు.
6. వివిధ రకాల ధృవణకాంతిని ఉత్పత్తి, గుర్తించడం మరియు పదార్థాల నిర్దిష్ట భ్రమణాన్ని కొలవడానికి ప్రోటోకాల్‌లను అభివృద్ధి చేయగలరు.

POLARIZATION

CHAPTER 3

Syllabus

Polarized light: Methods of production of plane polarized light, Double refraction, Brewster's law, Malus law, Nicol prism, Nicol prism as polarizer and analyser, Quarter wave plate, Half wave plate, Production and detection of Plane-, Circularly- and Elliptically-polarized light. Optical activity, Laurent's half shade Polarimeter: Determination of specific rotation, Basic principle of LCDs

Learning Objectives

In this chapter students would learn about

1. Various methods of producing polarized light and the laws governing them.
2. Nicol prism construction, working and applications.
3. Quarter wave plate, half wave plate and their applications.
4. Optical activity measurement and LCDs.

Learning Outcomes

By the end of the chapter, student would be able to

1. List out various methods to produce polarized light.
2. Describe the working of Nicol prism, quarter wave plate, half wave plate and LCDs.
3. Use quarter wave plate, half wave plate, Nicol prism to generate different types of polarized light.
4. Identify the need for half shade device and other polarizing devices in the production and analysis of polarized light.
5. Justify various combinations of quarter wave plate, half wave plate and Nicol prism to identify the polarization state of given light source.
6. Develop protocols for the production, detection of various types of polarized light and for the measurement of specific rotation of materials.

వివిధ ప్రోగ్రాం లకు చెందిన నిర్దిష్ట ఫలితాలు మరియు భవిష్యత్ దిశానిర్దేశకాలు

ఈ అధ్యాయం ముగిసే సమయానికి నిర్దిష్ట ప్రోగ్రామ్‌ల నుండి విద్యార్థులు ఈ క్రింది వాటిని అభినందించగలరు.

1. 1. భౌతిక శాస్త్రం: మెటీరియల్ మానిప్యులేషన్ మరియు మెటీరియల్ క్యారెక్టరైజేషన్ అప్లికేషన్‌ల కోసం సాధనాలు మరియు ప్రోటోకాల్‌లను అభివృద్ధి చేయడంలో వివిధ ధృవణకిరణాల అభివృద్ధి అవసరం.
2. రసాయన శాస్త్రం: రసాయన పదార్థాల లక్షణాలను అధ్యయనం చేయడానికి ధృవణకాంతిని ఉపయోగిస్తారు. కెమిస్ట్రీ యొక్క ఈ శాఖను స్టీరియోకెమిస్ట్రీ అంటారు.
3. కంప్యూటర్ సైన్స్: ఆప్టికల్ కంప్యూటర్‌లలో ఆప్టికల్ లాజిక్ గేట్‌లు కీలకమైన భాగాలు. కాంతి యొక్క ధృవణస్థితి ఆప్టికల్ గణనలకు ఉపయోగించే బైనరీ సమాచారం వలె పనిచేస్తుంది.
4. భూగర్భ శాస్త్రం: అనేక ఖనిజాలు పాలియోకోరిజంను ప్రదర్శిస్తాయి. అనగా; ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ కాంతికి గురైనప్పుడు అవి వేర్వేరు దిశల్లో వేర్వేరు రంగులను ప్రదర్శిస్తాయి.
5. ఎలక్ట్రానిక్స్: అనేక ఆప్టికల్ కమ్యూనికేషన్ సిస్టమ్‌లు ధృవణకాంతిని ఉపయోగిస్తాయి మరియు డిస్ప్లే సాంకేతికతలకు కూడా ధృవణకాంతి అవసరం.
6. పునరుత్పాదక శక్తి: పోలరైజింగ్ ఆర్గానిక్ ఫోటోవోల్టాయిక్స్ అనేది కొత్త సాంకేతికత, ఇక్కడ ఉపయోగించని LCD బ్యాక్‌లైట్ ఫోటోవోల్టాయిక్ టెక్నాలజీని ఉపయోగించి శక్తిని సేకరించేందుకు ఉపయోగించబడుతుంది.
7. గణాంకాలు: ఆప్టికల్ కమ్యూనికేషన్ సిస్టమ్‌లలో కొహెరెన్స్ మరియు రొద యొక్క అధ్యయనం గణాంక విశ్లేషణను ఉపయోగించి నిర్వహించబడుతుంది.

సుపరిచితం నుండి అపరిచితం వరకు

మీ 12వ తరగతిలో మీరు ధృవణత భావన, ధృవణకాంతిని ఉత్పత్తి చేసే వివిధ పద్ధతులు మరియు మాలస్ నియమం మరియు బ్రూస్టర్ నియమం గురించి తెలుసుకుని ఉండవచ్చు. ఈ అధ్యాయంలో మీరు వివిధ రకాల ధృవణకాంతి, ఉత్పత్తి మరియు గుర్తించే పద్ధతులు మరియు ధృవణకాంతి యొక్క కొన్ని అనువర్తనాల గురించి నేర్చుకుంటారు.

Course Outcomes specific to program and Future directions

By the end of this chapter students from specific programs would be able to appreciate the following:

8. Physics: Development of various polarized beams is essential in developing instruments and protocols for material manipulation and material characterization applications.
9. Chemistry: Polarized light is used to study the properties of chemical substances. This branch of chemistry is called the Stereochemistry.
10. Computer Science: Optical logic gates are crucial components in the optical computers. The polarization state of the light acts as the binary information to be used for the optical computations.
11. Geology: Several minerals exhibit paleochorism. i.e.; they exhibit different colours in different directions when exposed to plane polarized light.
12. Electronics: Several Optical communication systems use polarized light and the display technologies also need polarized light.
13. Renewable Energy: Polarizing organic photovoltaics is a new technology where unused LCD backlight is used to harvest energy using photovoltaic technology.
14. Statistics: Study of coherence and noise in optical communication systems is carried out using statistical analysis.

Familiar to Unfamiliar

In your 12th class you might have learned about the concept of polarization, various methods of producing polarized light and the Malus law and Brewster's law. In this chapter you will learn about various types of polarized light, methods of production and detection of the same and a few applications of polarized light.

1.1 పరిచయం

పోలరైజేషన్ అనే పదానికి వేర్వేరు సందర్భాలలో వేర్వేరు అర్థాలు ఉన్నాయి. ఉదాహరణకు, ఫిజిక్స్‌లో విద్యుద్వాహక ధృవణత, స్పిన్ పోలరైజేషన్ మొదలైన వాటి గురించి మాట్లాడతారు, ఇందులో ఛార్జీలు లేదా స్పిన్‌లు ధ్రువాలను ఏర్పరుస్తాయి. అనగా; వారు ఒక నిర్దిష్ట సూచన దిశలో సమలేఖనం చేస్తారు. తరంగాల విషయంలో, అవి ప్రాథమికంగా రెండు రకాలుగా వర్గీకరించబడ్డాయి: విలోమ మరియు రేఖాంశం. కాంతి అనేది ఒక విలోమ విద్యుదయస్కాంత తరంగం, ఇది విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత క్షేత్రాల కలయిక, ఇందులో విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత క్షేత్ర వెక్టర్స్ పరస్పరం లంబ దిశలలో డోలనం చెందుతాయి మరియు కదలిక దిశకు లంబంగా ఉంటాయి.

కాంతి తరంగాల విషయంలో, ఎలెక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ వెక్టర్ డోలనాలు 360° స్వేచ్ఛతో ఏ దిశలో అయినా ఉండవచ్చు, కానీ అవి ప్రసారం దిశకు అలాగే అయస్కాంత క్షేత్ర వెక్టర్‌కు లంబంగా ఉంటాయి. ఎలెక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ వెక్టార్ యొక్క డోలనాల దిశ ఒక నిర్దిష్ట సమతలానికి పరిమితం చేయబడితే, ఫలితంగా వచ్చే కాంతి ధ్రువణంగా చెప్పబడుతుంది.

కాంతి కిరణాల యొక్క విద్యుత్ క్షేత్ర వెక్టర్ యొక్క కంపన దిశ నిర్దిష్ట దిశకు పరిమితం చేయబడిన దృగ్విషయాన్ని ధృవణత అంటారు.

టూర్మాలిన్ క్రిస్టల్ గుండా కాంతి ప్రసరించినప్పుడు, ఆవిర్భవించే పుంజం ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ అవుతుంది, దీని విద్యుత్ క్షేత్ర వెక్టర్ యొక్క డోలనం క్రిస్టల్ యొక్క ఆప్టిక్ అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. ధృవణకాంతి దిశలో మరొక క్రిస్టల్ ఉంచబడితే మరియు ఆప్టిక్ అక్షం ధృవణదిశకు సమాంతరంగా ఉంటే, అప్పుడు కాంతి గుండా వెళుతుంది. ఆప్టిక్ అక్షం ధృవణదిశకు లంబంగా ఉంటే, కాంతి నిరోధించబడుతుంది.

ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ కాంతి:

కాంతి యొక్క విద్యుత్ క్షేత్ర వెక్టార్ డోలనం యొక్క దిశను ఒక సమతలానికి పరిమితం చేస్తే, దానిని ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ లైట్ అంటారు

వృత్తాకార ధృవణకాంతి:

కాంతి కిరణం యొక్క ఎలెక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ వెక్టర్ ప్రసారం సమయంలో వృత్తాకార మార్గాన్ని తీసుకున్నట్లయితే, దానిని వృత్తాకార ధృవణకాంతి అంటారు

భ్రమణ దిశపై ఆధారపడి, ఇది కుడి వృత్తాకార ధృవణకాంతి మరియు ఎడమ వృత్తాకార ధృవణకాంతి అవుతుంది.

దీర్ఘవృత్తాకార ధృవణకాంతి:

కాంతి యొక్క విద్యుత్ క్షేత్ర వెక్టర్ దీర్ఘవృత్తాకార మార్గాన్ని తీసుకున్నట్లయితే, దానిని దీర్ఘవృత్తాకార ధృవణకాంతి అంటారు. భ్రమణ దిశపై ఆధారపడి, కుడి దీర్ఘవృత్తాకార ధృవణకాంతి మరియు ఎడమ దీర్ఘవృత్తాకార ధృవణకాంతి ఉన్నాయి.

3.1 Introduction

The word polarization has different meanings in different contexts. For instance, in Physics one talks about the dielectric polarization, spin polarization etc. wherein the charges or spins will be forming poles. i.e.; they align towards a particular reference direction. In the case of waves, they are basically classified into two types: the transverse and the longitudinal. Light is a transverse electromagnetic wave, which is a combination of electric and magnetic fields wherein the electric and magnetic field vectors oscillate in mutually perpendicular directions and are perpendicular to the direction of motion.

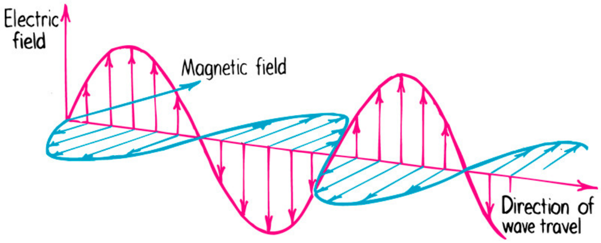


Fig: Electromagnetic wave.

In the case of light waves, the electric field vector oscillations could be in any direction with 360° freedom, still being perpendicular to the direction of propagation as well as the magnetic field vector. If the direction of oscillations of electric field vector are restricted to a particular plane, then the resulting light is said to be polarized.

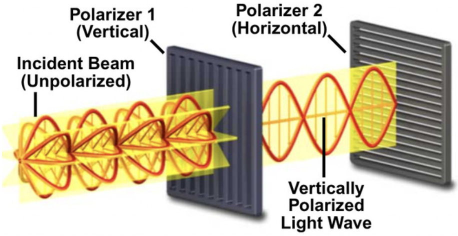
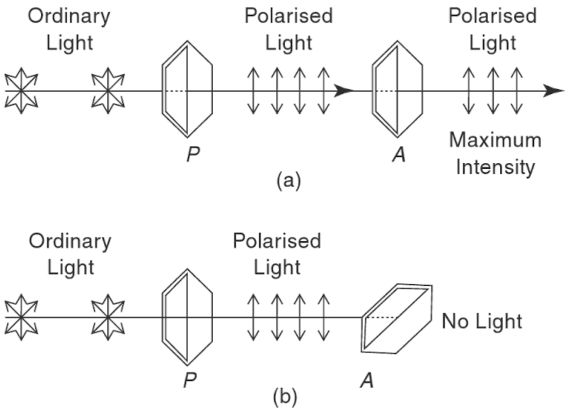


Fig: Polarization.

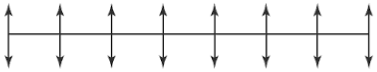
The phenomenon in which the direction of vibration of electric field vector of light rays is restricted to a particular direction is called polarization.



When light passes through tourmaline crystal, the emergent beam becomes plane polarized whose direction of oscillation of electric field vector is parallel to the optic axis of the crystal. If another crystal is placed in the direction of the polarized light and if the optic axis is parallel to the direction of polarization, then the light will pass through. If the optic axis is perpendicular to the direction of polarization, then light will be blocked.

Plane polarized light:

If the direction of oscillation of electric field vector of light is restricted to a plane, then it is called a plane polarized light.

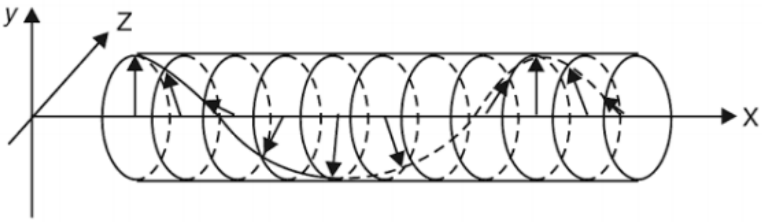


(a) Plane polarised light—parallel to plane of this paper

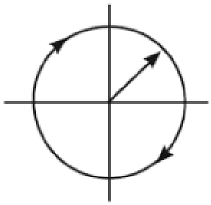
(b) Plane polarised light—perpendicular to the plane of paper

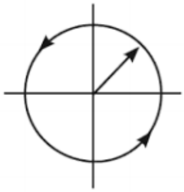
Circularly polarized light:

If the electric field vector of light ray traces a circular path during the propagation, then it is called circularly polarized light.



Depending on the direction of rotation, it will be right circularly polarized light and left circularly polarized light.

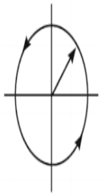


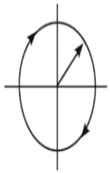


Right circularly polarized light   Left circularly polarized light

Elliptically polarized light:

If the electric field vector of light traces elliptical path, then it is called elliptically polarized light. Depending on the direction of rotation, there are right elliptically polarized light and left elliptically polarized light.





Right elliptically polarized light Left elliptically polarized light

3.2 Polarization by reflection (Brewster's law)

It was Malus who observed that when unpolarized light reflects from any surface, it is plane polarized. Further it was Brewster who identified that when light is incident at a particular angle, the reflected light is **completely** plane polarized. Brewster also identified that tangent of that particular angle of incidence is equal to refractive index of the material.

Thus

$$\mu = \tan i_p = \frac{\sin i_p}{\cos i_p}$$

3.2 రిఫ్లెక్షన్ ద్వారా ధృవణత (బ్రూస్టర్ నియమం)

ధ్రువపరచబడని కాంతి ఏదైనా ఉపరితలం నుండి రిఫ్లెక్ట్ అయినప్పుడు, అది ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ అవుతుందని మాలుస్ గమనించాడు. ఒక నిర్దిష్ట కోణంలో కాంతి పతనం చెందినప్పుడు, పరావర్తనం చెందిన కాంతి **పూర్తిగా** ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ అవుతుందని బ్రూస్టర్ గుర్తించాడు. పతన కోణం యొక్క టాంజెంట్ పదార్థం యొక్క రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్కు సమానమని కూడా బ్రూస్టర్ గుర్తించాడు.

ఈ విధంగా

$$\mu = \tan i_p = \frac{\sin i_p}{\cos i_p}$$

స్నెల్ నియమం నుండి

$$\mu = \frac{\sin i_p}{\sin r}$$

పై రెండు సమీకరణాల నుండి

$$\cos i_p = \sin r$$

$$\Rightarrow \sin(90^\circ - i_p) = \sin r$$

$$\Rightarrow 90^\circ - i_p = r$$

$$\Rightarrow i_p + r = 90^\circ$$

పై బొమ్మ నుండి,

$$\angle AOR + \angle ROT + \angle TOB = 180^\circ$$

$$\Rightarrow i_p + \angle ROT + r = 180^\circ$$

$$\Rightarrow \angle ROT = 90^\circ$$

అంటే, బ్రూస్టర్ కోణంలో కాంతి పతనం చెందినప్పుడు, పరావర్తన కిరణం మరియు వక్రీభవన కిరణాల మధ్య కోణం 90° ఉంటుంది.

పై చర్చ నుండి, బ్రూస్టర్ యొక్క నియమం ఒక రకమైన ధృవణతరంగాన్ని పూర్తిగా ప్రసారం చేయడానికి షరతును ఇస్తుంది, తద్వారా పరావర్తన భాగం పూర్తిగా మరొక రకమైనది మరియు ప్రసారం చేయబడిన తరంగం మిశ్రమ భాగాలను కలిగి ఉంటుంది.

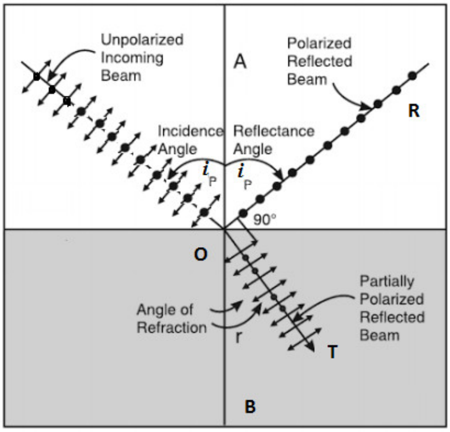


Fig: Brewster's law.

From Snell's law it is known that

$$\mu = \frac{\sin i_p}{\sin r}$$

From the above two equations we obtain

$$\cos i_p = \sin r$$

$$\Rightarrow \sin(90° - i_p) = \sin r$$

$$\Rightarrow 90° - i_p = r$$

$$\Rightarrow i_p + r = 90°$$

From the above figure,

$$\angle AOR + \angle ROT + \angle TOB = 180°$$

$$\Rightarrow i_p + \angle ROT + r = 180°$$

$$\Rightarrow \ \angle ROT = 90°$$

i.e., when the light is incident at Brewster's angle, the angle between reflected ray and refracted ray will be equal to 90°.

From the above discussion, it is clear that Brewster's law gives condition for complete transmission of one kind of polarized wave so that the reflected component is purely of the other kind and that the transmitted wave contains mixed components.

1.3 వక్రీభవనం/ఎంపిక శోషణ ద్వారా ధృవణత(మాలస్ నియమం)

టూర్మలైన్ వంటి కొన్ని స్ఫటికాలపై అన్‌పోలరైజ్డ్ లైట్ పడినప్పుడు, ఎమర్జెంట్ లైట్ అనేది స్ఫటికం యొక్క ఆప్టిక్ అక్షానికి సమాంతరంగా విద్యుత్ క్షేత్ర వైబ్రేషన్‌లతో ధ్రువపరచబడిన సమతలం. ధృవణకాంతి దిశలో మరొక క్రిస్టల్ ఉంచబడితే మరియు ఆ స్ఫటికం యొక్క ఆప్టిక్ అక్షం ధృవణదిశకు సమాంతరంగా ఉంటే, అప్పుడు కాంతి దాని గుండా వెళుతుంది. అయితే, ఆప్టిక్ అక్షం ధృవణ దిశకు లంబంగా ఉంటే, అప్పుడు కాంతి పూర్తిగా నిరోధించబడుతుంది. ఇక్కడ మొదటి స్ఫటికాన్ని పోలరైజర్ అని మరియు రెండవ దానిని ఎనలైజర్ అని అంటారు.

పోలరైజర్ మరియు ఎనలైజర్ యొక్క ఆప్టిక్ అక్షాల మధ్య కోణం θ అయితే, ఎనలైజర్ నుండి వెలువడే కాంతి తీవ్రత పోలరైజర్ మరియు ఎనలైజర్ యొక్క ఆప్టిక్ అక్షాల మధ్య కోణం యొక్క కొసైన్ వర్గానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

పోలరైజర్ గుండా వెళ్ళిన తర్వాత కాంతి తీవ్రత .I_0 అయితే, మరియు ధృవణకం మరియు ఎనలైజర్ యొక్క ఆప్టిక్ అక్షాల మధ్య కోణం θ అయితే, ఎనలైజర్ నుండి వెలువడే కాంతి తీవ్రత దీని ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

దీనినే మాలస్ నియమం అంటారు.

ఎందుకంటే స్ఫటికం యొక్క ఆప్టిక్ అక్షం వెంట ఉన్న పతన ధృవణ కాంతి యొక్క యాంప్లిట్యూడ్ యొక్క ఒక భాగం క్రిస్టల్ గుండా వెళుతుంది. పతన ధృవణ కాంతి యొక్క యాంప్లిట్యూడ్ a_o మరియు స్ఫటికం గుండా వెళ్ళిన తర్వాత యాంప్లిట్యూడ్ a అయితే, వాటి మధ్య సంబంధం ఇలా ఉంటుంది.

$$a = a_o \cos \theta$$

తీవ్రత యాంప్లిట్యూడ్ యొక్క వర్గం వలె మారుతూ ఉంటుంది కాబట్టి,

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

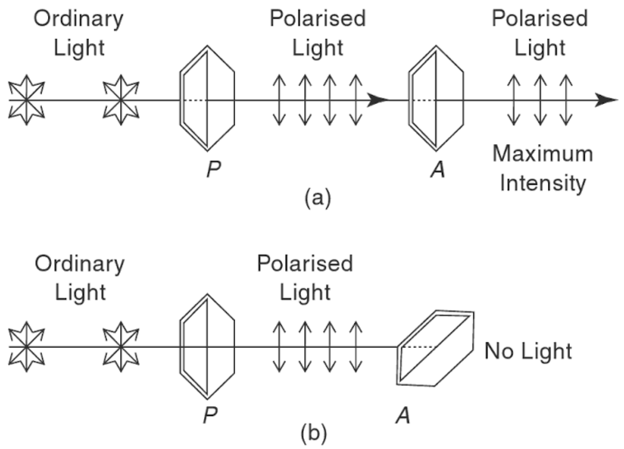
ఇక్కడ$I_o \propto a_o^2$

3.4 డబుల్ రిఫ్రాక్షన్/బైరిఫ్రింజెన్స్

పోలరైజ్డ్ కాంతి పుంజం కాల్సైట్ లేదా క్వార్ట్జ్ వంటి అనిసోట్రోపిక్ క్రిస్టల్‌పై పడినప్పుడు, కాంతి ధృవణమవుతుంది మరియు పరస్పరం లంబ ధ్రువణాలతో రెండు ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ కిరణాలుగా విడిపోతుంది. ఈ దృగ్విషయాన్ని డబుల్ రిఫ్రాక్షన్ లేదా బైరిఫ్రింజెన్స్ అంటారు. రెండు కిరణాలను O-రే ($Ordinary - ray$) మరియు E-రే ($extraordinary - ray$) అని పిలుస్తారు, O-రే కు కాగితం యొక్క సమతలంకు లంబంగా మరియు E-రే కు, కాగితం యొక్క సమతలంలో వరుసగా విద్యుత్ క్షేత్ర వైబ్రేషన్లు ఉంటాయి.

3.3 Polarization by refraction/selective absorption (Malus law)

When unpolarized light falls on certain crystals like tourmaline, the emergent light is plane polarized with electric field vibrations oriented parallel to the optic axis of the crystal. If another crystal is placed in the direction of the polarized light and if the optic axis of



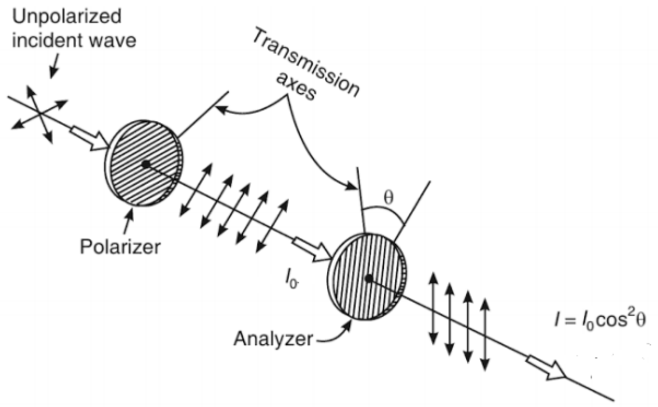
that crystal is parallel to the direction of polarization, then the light will pass through. However, if the optic axis is perpendicular to the direction of polarization, then the light will be completely blocked. Here the first crystal is called the polarizer and the second one is called the analyzer.

If θ is the angle between the optic axes of the polarizer and analyzer, then the intensity of light emerging out of the analyzer is proportional to the square of the cosine of the angle between the optic axes of polarizer and analyzer.

If I_0 be the intensity of light after passing through the polarizer, and if θ be the angle between the optic axes of polarizer and analyzer, then the intensity of light emerging out of analyzer is given by

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

This is known as the Malus law.



This is because a component of the amplitude of the incident polarized light along the optic axis of the crystal alone will be passed through the crystal. If a_o is the amplitude of incident polarized light and if a is the amplitude after passing through the crystal, then they are related by

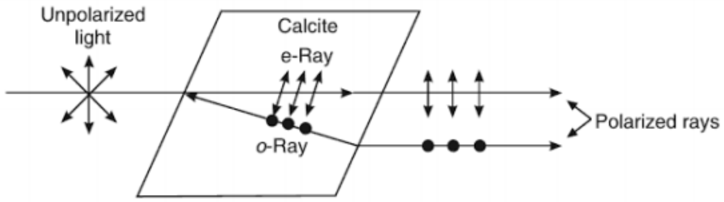
$$a = a_o \cos\theta$$

Since intensity varies as square of amplitude,

$$I = I_0 \cos^2\theta$$

Here $I_o \propto a_o^2$

3.4 Double refraction/Birefringence



When a beam of unpolarized light falls on an anisotropic crystal such as calcite or quartz, the light polarizes and also splits into two plane polarized rays with mutually perpendicular polarizations. This phenomenon is known as double refraction or birefringence. The two rays are known as $Ordinary - ray\ or$ O-ray, with electric field vibrations perpendicular to the plane of paper and the

extraordinary − ray or E-ray, with electric field vibrations on the plane of the paper respectively.

Optic axis: Any line that passes through the blunt corners of a birefringent crystal is known as optic axis. Any line parallel to that is also known as optic axis.

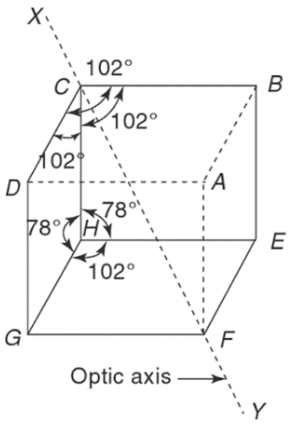
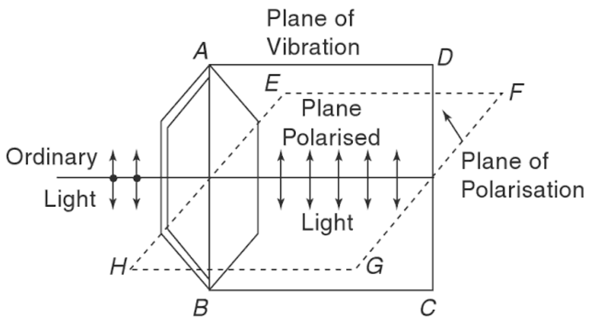


Fig: Optic axis

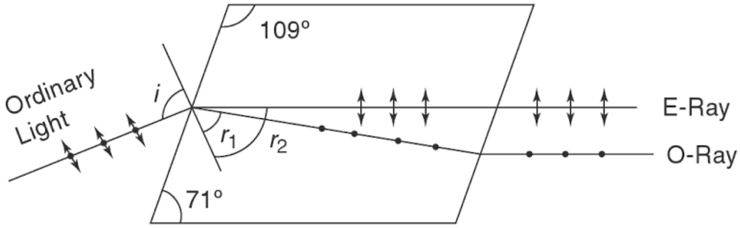
Plane of polarization: The plane perpendicular to the direction of propagation and the direction of oscillations of electric field vector is known as plane of polarization.



Principal section:

Any plane containing the optic axis and perpendicular to a pair of opposite faces of the crystal is known as the principal section. The

principal section of calcite is a parallelogram with angles 71° and 109°.



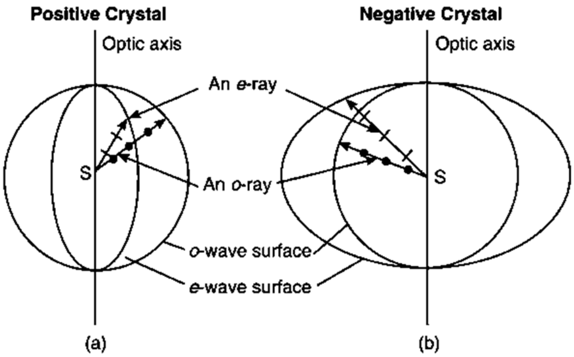
The refractive index of O-ray and E-ray in calcite is given by

$$\mu_o = \frac{\sin i}{\sin r_1}, \quad \mu_e = \frac{\sin i}{\sin r_2}$$

Positive crystal and negative crystal:

A birefringent crystal in which ordinary ray travels slower than the extraordinary ray is known as negative crystal. Eg: Calcite. For this crystal $v_o < v_e$ or $\mu_o > \mu_e$.

A birefringent crystal in which ordinary ray travels faster than the extraordinary ray is known as positive crystal. Eg: Quartz. For this crystal $v_o > v_e$ or $\mu_o < \mu_e$



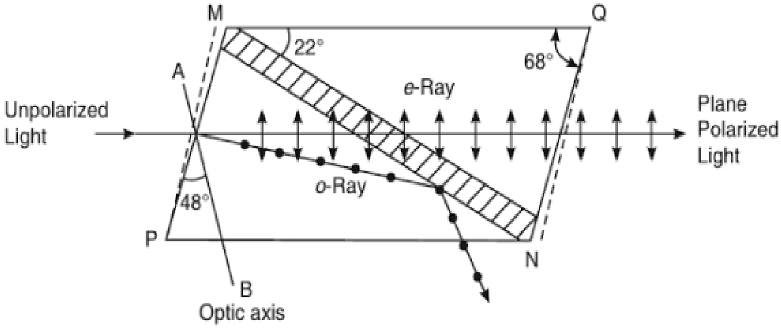
Along the optic axis of the crystal, both rays will travel with equal velocity. The wavefronts of O-ray and E-ray in both positive and negative crystal are as shown in the picture.

3.5 Nicol prism

Nicol prism is a device made from calcite crystal used to produce and analyze plane polarized light. It is designed in such a way that it transmits extraordinary ray and blocks the ordinary ray. It is developed by a Scottish physicist William Nicol in 1828.

Construction:

The principal section of the calcite crystal is cut into two along the optic axis and then joined with Canada balsam, an optical adhesive. The faces of the crystal are polished again to make the angle of the parallelogram from 71° to 68°. This is to ensure proper angle of incidence over the interface.



The refractive index of ordinary ray and extra ordinary ray in calcite for sodium yellow light 5893Å is given by

$$\mu_o = 1.6584$$

$$\mu_e = 1.4864$$

The refractive index of canada balsam is given by $\mu = 1.55$

Thus Canada balsam acts as denser medium for E-ray and rarer medium for O-ray. If the angle of incidence is managed to be **more** than the critical angle of $O - ray$, then it will be totally internally reflected.

The critical angle of O-ray is given by

$$\theta_c = \sin^{-1}\left[\frac{1.55}{1.6584}\right] = 69.2°$$

ఆప్టిక్ అక్షం:బైరిఫ్రింజెంట్ క్రిస్టల్ యొక్క మొద్దుబారిన మూలల గుండా వెళుతున్న ఏదైనా రేఖను ఆప్టిక్ యాక్సిస్ అంటారు. దానికి సమాంతరంగా ఉండే ఏదైనా రేఖను కూడా ఆప్టిక్ యాక్సిస్ అని అంటారు.

ధృవణ సమతలం:ఎలెక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ వెక్టర్ యొక్క ప్రసారం దిశ మరియు డోలనాల దిశకు లంబంగా ఉండే సమతలాన్ని ధృవణ సమతలం అంటారు.

ప్రధాన విభాగం: ఆప్టిక్ అక్షం మరియు క్రిస్టల్ యొక్క ఒక జత వ్యతిరేక ముఖాలకు లంబంగా ఉండే ఏదైనా సమతలం ప్రధాన విభాగంగా పిలువబడుతుంది. కాల్సైట్ యొక్క ప్రధాన విభాగం 71° మరియు 109° కోణాలతో సమాంతర చతుర్భుజం.

కాల్సైట్‌లోని O-ray మరియు E-ray యొక్క రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ ఇలా ఇవ్వబడింది

$$\mu_o = \frac{\sin i}{\sin r_1}, \quad \mu_e = \frac{\sin i}{\sin r_2}$$

సానుకూల క్రిస్టల్ మరియు ప్రతికూల క్రిస్టల్:

అసాధారణ కిరణం కంటే సాధారణ కిరణం నెమ్మదిగా ప్రయాణించే బైర్‌ఫ్రింజెంట్ క్రిస్టల్‌ను నెగటివ్ క్రిస్టల్ అంటారు. ఉదా: కాల్సైట్. ఈ క్రిస్టల్ కోసం లేదా .$v_o < v_e \mu_o > \mu_e$

అసాధారణ కిరణం కంటే సాధారణ కిరణం వేగంగా ప్రయాణించే బైర్‌ఫ్రింజెంట్ క్రిస్టల్‌ను పాజిటివ్ క్రిస్టల్ అంటారు. ఉదా: క్వార్ట్జ్. ఈ క్రిస్టల్ కోసం లేదా$v_o > v_e \mu_o < \mu_e$

క్రిస్టల్ యొక్క ఆప్టిక్ అక్షం వెంట, రెండు కిరణాలు సమాన వేగంతో ప్రయాణిస్తాయి. పాజిటివ్ మరియు నెగటివ్ క్రిస్టల్‌లో O-ray మరియు E-ray యొక్క వేవ్‌ఫ్రంట్‌లు చిత్రంలో చూపిన విధంగా ఉన్నాయి.

3.5 నికోల్ ప్రిజం

నికోల్ ప్రిజం అనేది ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ లైట్‌ను ఉత్పత్తి చేయడానికి మరియు విశ్లేషించడానికి ఉపయోగించే కాల్సైట్ క్రిస్టల్‌తో తయారు చేయబడిన పరికరం. ఇది అసాధారణ కిరణాలను ప్రసారం చేసే విధంగా మరియు సాధారణ కిరణాన్ని నిరోధించే విధంగా రూపొందించబడింది. దీనిని 1828లో స్కాటిష్ భౌతిక శాస్త్రవేత్త విలియం నికోల్ అభివృద్ధి చేశారు.

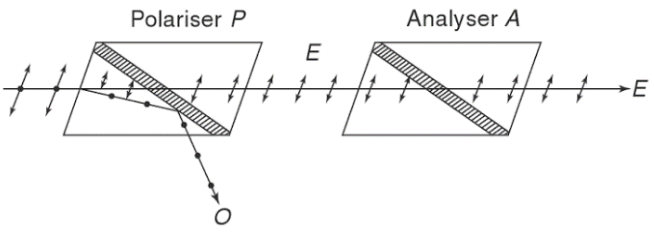
నిర్మాణం:

కాల్సైట్ స్ఫటికం యొక్క ప్రధాన విభాగం ఆప్టిక్ అక్షం వెంట రెండుగా కత్తిరించబడుతుంది మరియు తరువాత కెనడా బాల్సమ్, ఆప్టికల్ అంటుకునేది. నుండి సమాంతర చతుర్భుజం యొక్క కోణాన్ని 71°, 68° చేయడానికి క్రిస్టల్ ముఖాలు మళ్లీ పాలిష్ చేయబడతాయి. ఇది ఇంటర్‌ఫేస్‌పై సరైన పతన కోణాన్ని నిర్ధారిస్తుంది.

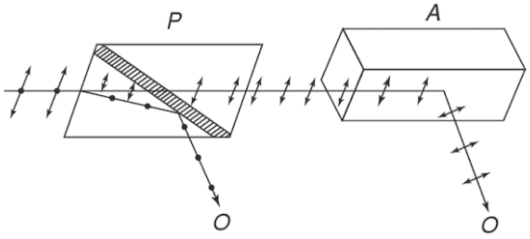
To make angle of incidence on Canada balsam more than this critical angle, the angle of calcite is grounded from 71° to 68° and length is made three times the height of the crystal.

3.6 Nicol prism as polarizer and analyser

Nicol prism can be used as both polarizer and analyser. When unpolarised light passes through Nicol prism, it produces plane polarized light. Thus it acts as a polarizer. When polarized light passes through a rotating Nicol, light intensity varies between zero and maximum. When the principal section of polarizer and analyser are aligned parallel, then the light will pass through. When the analyser Nicol is rotated further by 90°, light will be completely blocked. This orientation of the Nicol is called crossed Nicol.



(a) Production of plane polarised light



3.7 Quarter wave plate

A Quarter Wave plate (QWP) is a thin plate of birefringent crystal with its optic axis parallel to the refracting surface and thickness is adjusted in such a way that the O-ray and E-ray will attain a path difference of $\lambda/4$ or a phase difference of 90°.

3.6 పోలరైజర్ మరియు ఎనలైజర్‌గా నికోల్ ప్రిజం

సోడియం పసుపు కాంతి 5893Å కోసం కాల్సైట్‌లోని సాధారణ కిరణాలు మరియు అదనపు సాధారణ కిరణాల రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ దీని ద్వారా ఇవ్వబడింది

$$\mu_o = 1.6584$$
$$\mu_e = 1.4864$$

కెనడా బాల్సమ్ యొక్క రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ ఇలా ఇవ్వబడింది$\mu = 1.55$

అందువల్ల కెనడా బాల్సమ్ E-రే కు దట్టమైన మాధ్యమంగా మరియు O-రేకు అరుదైన మాధ్యమంగా పనిచేస్తుంది. పతన కోణం క్లిష్టమైన కోణం కంటే ఎక్కువగా నిర్వహించబడితే, అది పూర్తిగా అంతర్గతంగా ప్రతిబింబిస్తుంది.

O-రే యొక్క క్లిష్టమైన కోణం ఇలా ఇవ్వబడింది

$$\theta_c = \sin^{-1}\left[\frac{1.55}{1.6584}\right] = 69.2^\circ$$

కెనడా బాల్సమ్‌పై ఈ క్లిష్ట కోణం కంటే ఎక్కువ పతన ల కోణాన్ని చేయడానికి, కాల్సైట్ కోణం 71° నుండి 68° కి అరగదీయబడింది. మరియు క్రిస్టల్ పొడవు ఎత్తుకు మూడు రెట్లు ఉంటుంది.

3.6 పోలరైజర్ మరియు ఎనలైజర్‌గా నికోల్ ప్రిజం

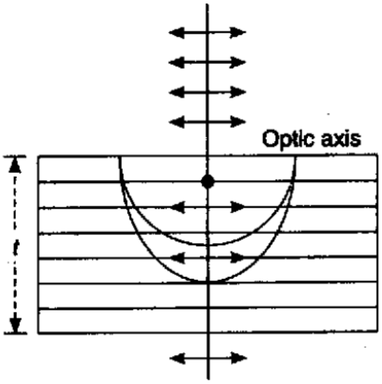
నికోల్ ప్రిజమ్‌ను పోలరైజర్ మరియు ఎనలైజర్‌గా ఉపయోగించవచ్చు. అన్ పోలరైజ్డ్ కాంతి నికోల్ ప్రిజం గుండా వెళ్ళినప్పుడు, అది ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ కాంతిని ఉత్పత్తి చేస్తుంది. అందువలన ఇది పోలరైజర్‌గా పనిచేస్తుంది. ధ్రువణ కాంతి తిరిగే నికోల్ గుండా వెళుతున్నప్పుడు, కాంతి తీవ్రత సున్నా మరియు గరిష్టం మధ్య మారుతూ ఉంటుంది. పోలరైజర్ మరియు ఎనలైజర్ యొక్క ప్రధాన విభాగం సమాంతరంగా సమలేఖనం చేయబడినప్పుడు, కాంతి వాటి గుండా వెళుతుంది. ఎనలైజర్ నికోల్‌ను 90° తిప్పినప్పుడు, కాంతి పూర్తిగా నిరోధించబడుతుంది. నికోల్ యొక్క ఈ అమరికని క్రాస్డ్ నికోల్ అంటారు.

3.7 క్వార్టర్ వేవ్ ప్లేట్

క్వార్టర్ వేవ్ ప్లేట్ (QWP) అనేది బైరిఫ్రింజెంట్ క్రిస్టల్ యొక్క పలుచని ప్లేట్, దాని ఆప్టిక్ అక్షం వక్రీభవన ఉపరితలానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది మరియు O-రే మరియు E-రేలు మార్గ వ్యత్యాసం $\lambda/4$ లేదా 90° దశ వ్యత్యాసాన్ని పొందే విధంగా మందం సర్దుబాటు చేయబడుతుంది.

ఒక ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ధ్రువణ కాంతి బైరిఫ్రింజెంట్ క్రిస్టల్‌పై పడినప్పుడు, O-రే మరియు E-రే వేరు చేయబడతాయి. అలాగే క్రిస్టల్ లోపల, O-రే మరియు E-రే ఆప్టిక్ అక్షం కాకుండా ఏ దిశలో అయినా వేర్వేరు వేగాలను కలిగి ఉంటాయి. స్ఫటికం యొక్క మందం చాలా సర్దుబాటు చేయబడింది, O-రే మరియు E-రే స్ఫటికం నుండి బయటకు వచ్చే సమయానికి, అవి $\lambda/4$ మార్గ వ్యత్యాసం లేదా 90° దశల వ్యత్యాసానికి లోనవుతాయి. కిరణాలు స్ఫటికం నుండి బయటకు వచ్చిన తర్వాత, రెండూ ఒకే వేగంతో ప్రయాణిస్తాయి.

When a plane polarized light falls on the birefringent crystal, O-Ray and E-Ray will get separated. Also inside the crystal, O-Ray and E-Ray will have different velocities in any direction other than the optic axis. The thickness of the crystal is so adjusted that by the time O-Ray and E-Ray come out of the crystal, they undergo a path difference of $\lambda/4$ or a phase difference of 90°. Once the rays come out of the crystal, both will travel with the same velocity.



The thickness of the plate is given by

$$|\mu_e - \mu_o| \times t = \frac{\lambda}{4} \quad or \quad t = \frac{\lambda}{4 \times |\mu_e - \mu_o|}$$

The resultant polarization state of light when O-ray and E-ray with 90° phase difference get superimposed will be circular. Similarly when a circularly polarized light falls on a QWP, it becomes plane polarized. In the same manner if an elliptically polarized light falls on a QWP, it also becomes plane polarized.

3.8 Half wave plate

A Half Wave late (HWP) is a thin plate of birefringent crystal with its optic axis parallel to the refracting surface and thickness is adjusted in such a way that the O-ray and E-ray will attain a path difference of $\lambda/2$ or a phase difference of 180°.

When a plane polarized light falls on the birefringent crystal, O-Ray and E-Ray will get separated. Further, inside the crystal O-Ray and

3.7 హాఫ్ వేవ్ ప్లేట్

ప్లేట్ యొక్క మందం ఇలా ఇవ్వబడుతుంది

$$|\mu_e - \mu_o| \times t = \frac{\lambda}{4} \quad or \quad t = \frac{\lambda}{4 \times |\mu_e - \mu_o|}$$

O-ray మరియు E-ray మరియు E-ray దశల 90° భేదంతో సూపర్‌పోజ్ చేయబడినప్పుడు ఫలితంగా వచ్చే కాంతి ధృవణ స్థితి వృత్తాకారంగా ఉంటుంది. అదేవిధంగా వృత్తాకార ధృవణ కాంతి QWPపై పడినప్పుడు, అది సమతల ధృవణమవుతుంది. అదే పద్ధతిలో దీర్ఘవృత్తాకార ధృవణ కాంతి QWP మీద పడితే, అది కూడా సమతల ధృవణమవుతుంది.

3.7 హాఫ్ వేవ్ ప్లేట్

హాఫ్ వేవ్ లేట్ (HWP) అనేది వక్రీభవన ఉపరితలానికి సమాంతరంగా ఉన్న దాని ఆప్టిక్ అక్షంతో కూడిన బైరిఫ్రింజెంట్ క్రిస్టల్ యొక్క పలుచని ప్లేట్ మరియు O-రే మరియు E-రే మార్గ వ్యత్యాసం $\lambda/2$ లేదా 180° దశ వ్యత్యాసాన్ని పొందే విధంగా మందం సర్దుబాటు చేయబడుతుంది. యొక్క.
ఒక ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ధృవణ కాంతి బైరిఫ్రింజెంట్ క్రిస్టల్‌పై పడినప్పుడు, O-రే మరియు E-రే వేరు చేయబడతాయి. ఇంకా, క్రిస్టల్ లోపల O-రే మరియు E-రే ఆప్టిక్ అక్షం కాకుండా వేరే దిశలో వేర్వేరు వేగాలను కలిగి ఉంటాయి. స్ఫటికం యొక్క మందం చాలా సర్దుబాటు చేయబడింది, O-రే మరియు E-రే స్ఫటికం నుండి బయటకు వచ్చే సమయానికి, అవి $\lambda/2$ మార్గ వ్యత్యాసం లేదా 180° దశల వ్యత్యాసానికి లోనవుతాయి. కిరణాలు స్ఫటికం నుండి బయటకు వచ్చిన తర్వాత, రెండూ మళ్లీ ఒకే వేగంతో ప్రయాణిస్తాయి.
ప్లేట్ యొక్క మందం ఇలా ఇవ్వబడుతుంది

$$|\mu_e - \mu_o| \times t = \frac{\lambda}{2} \quad or \quad t = \frac{\lambda}{2 \times |\mu_e - \mu_o|}$$

O-ray మరియు E-ray 180° దశల వ్యత్యాసంతో సూపర్‌పోజ్ చేయబడినప్పుడు ఫలితంగా వచ్చే కాంతి ధృవణ స్థితి మళ్లీ ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ వుతుంది. అదేవిధంగా వృత్తాకార ధృవణ కాంతి HWPపై పడినప్పుడు, అది ఇప్పటికీ వృత్తాకార ధ్రువణంగా ఉంటుంది, కానీ ఎడమ మరియు కుడి ధ్రువణాలు పరస్పరం మారతాయి. ఎలిప్టికల్ పోలరైజ్డ్ లైట్ విషయంలో కూడా ఇదే జరుగుతుంది.

3.9 ధృవణ కాంతి ఉత్పత్తి మరియు గుర్తింపు

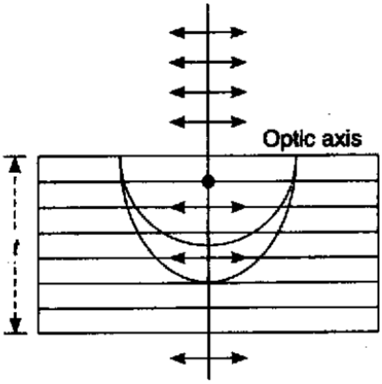
కాంతి కిరణాలకు ప్రాథమికంగా ప్లేన్ పోలరైజేషన్, సర్క్యులర్ పోలరైజేషన్ మరియు ఎలిప్టికల్ పోలరైజేషన్ అనే మూడు రకాల ధ్రువణాలు ఉన్నాయి.

ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ కాంతి:

నికోల్ ప్రిజం సమతలం ద్వారా ధ్రువపరచబడని కాంతిని పంపినప్పుడు ధృవణ కాంతి ఉత్పత్తి అవుతుంది.

ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ కాంతిని తిరిగే నికోల్ గుండా పంపినప్పుడు, అది సున్నాకి సమానమైన కనిష్ట తీవ్రతతో గరిష్ట మరియు కనిష్ట మధ్య తీవ్రత వైవిధ్యాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది.

E-Ray will have different velocities in a direction other than the optic axis. The thickness of the crystal is so adjusted that by the time O-Ray and E-Ray come out of the crystal, they undergo a path difference of $\lambda/2$ or a phase difference of 180°. Once the rays come out of the crystal, both will again travel with the same velocity.



The thickness of the plate is given by

$$|\mu_e - \mu_o| \times t = \frac{\lambda}{2} \quad or \quad t = \frac{\lambda}{2 \times |\mu_e - \mu_o|}$$

The resultant polarization state of light when O-ray and E-ray with 180° phase difference get superimposed will be again plane polarized. Similarly when a circularly polarized light falls on a HWP, it will be still circularly polarized but left and right polarizations get interchanged. Similar is the case with the elliptically polarized light.

3.9 Production and detection of Polarized light

There are basically three types of polarizations for light rays namely plane polarization, circular polarization and elliptical polarization.

Plane polarized light:

When an unpolarised light is passed through Nicol prism plane polarized light is produced.

వృత్తాకార ధృవణ కాంతి:

రెండు సమతల ధృవణ కాంతి కిరణాలు సమాన వ్యాప్తితో $\pi/2$ ఒక దశ వ్యత్యాసంతో సూపర్పోస్ చేసినప్పుడు, వృత్తాకార ధృవణ కాంతి ఉత్పత్తి అవుతుంది.

ఒక ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ కాంతి దాని ఆప్టిక్ అక్షం సాధారణ పతన పుంజంతో క్వార్టర్ వేవ్ ప్లేట్ గుండా వెళుతున్నప్పుడు, వృత్తాకార ధృవణ కాంతి ఉత్పత్తి అవుతుంది.

వృత్తాకార ధృవణ కాంతి QWP గుండా వెళుతున్నప్పుడు, నికోల్‌ని తిరిగేటప్పుడు, QWP తర్వాత ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ లైట్ ఉత్పత్తి అవుతుంది మరియు నికోల్‌ని తిప్పిన తర్వాత, ఇది కనిష్ట తీవ్రత సున్నాతో తీవ్రత వైవిధ్యాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది.

దీర్ఘవృత్తాకార ధృవణ కాంతి:

ఎలిప్టికల్‌గా పోలరైజ్డ్ లైట్ రెండు ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ లైట్‌లు అసమాన వ్యాప్తితో, $\frac{\pi}{2}$ కాకుండా వేరే దశ తేడాతో సూపర్‌ఇంపోజ్ అయినప్పుడు ఉత్పత్తి అవుతుంది. ,

ధృవణ కాంతి QWPపై దాని ఆప్టిక్ అక్షం పతన తలానికి సమాంతరంగా లేనప్పుడు, అది $\pi/2$ కాకుండా ఇతర దశల వ్యత్యాసాన్ని పరిచయం చేస్తుంది. ఇక్కడ ఓరియంటేషన్ తేడాల కారణంగా O-ray మరియు E-ray యొక్క యాంప్లిట్యూడ్ అసమానంగా ఉంటుంది. అందువలన ఇది దీర్ఘవృత్తాకార ధృవణ కాంతిని ఉత్పత్తి చేస్తుంది.

ఎలిప్టికల్ పోలరైజ్డ్ లైట్ భ్రమణ నికోల్ గుండా వెళుతున్నప్పుడు కనిష్టంగా నాన్ జీరోతో తీవ్రతలో వైవిధ్యాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది. తిరిగే నికోల్ గుండా వెళుతున్నప్పుడు పాక్షికంగా ధృవణ కాంతి కూడా ఇలాంటి ప్రభావాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది. అస్పష్టతను నివారించడానికి, కాంతి మొదట QWP ద్వారా పంపబడుతుంది. అప్పుడు అది ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ లైట్‌గా మార్చబడుతుంది. అప్పుడు అది తిరిగే నికోల్ గుండా వెళితే, కనిష్టంగా సున్నాతో తీవ్రతలో వైవిధ్యం గమనించవచ్చు. పాక్షికంగా ధృవణ కాంతి QWP గుండా వెళ్ళిన తర్వాత నికోల్‌ని తిప్పడం ద్వారా తీవ్రతలో వైవిధ్యాన్ని కూడా చూపుతుంది. కానీ ఈ సందర్భంలో కనీస సున్నా ఉండదు.

3.10 ఆప్టికల్ యాక్టివిటీ

ఆప్టికల్ రొటేషన్ లేదా వృత్తాకార బైరిఫ్రింజెన్స్ లేదా పోలరైజేషన్ రొటేషన్ అనేది ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ లైట్ కొన్ని పదార్థాల గుండా వెళుతున్నప్పుడు ధృవణ అక్షం యొక్క విన్యాసాన్ని భ్రమణం చేసే దృగ్విషయం. భ్రమణ దిశపై ఆధారపడి, పదార్థాలు డెక్స్ట్రో-రొటేటరీ (డి-రొటేటరీ) మరియు లెవో-రొటేటరీ (ఎల్-రొటేటరీ) అనే రెండు రకాలుగా వర్గీకరించబడ్డాయి.

వృత్తాకార డైక్రోయిజం అనేది వృత్తాకార ధృవణ కాంతి కోసం డైక్రోయిజం యొక్క డిస్ప్లే. డైక్రోయిజం అనేది సెలెక్టివ్ శోషణ దృగ్విషయం, దీనిలో వివిధ ధృవణ స్థితులతో కాంతి కిరణాలు వాటి తరంగదైర్ఘ్యం ఆధారంగా కాంతి కిరణాల విభజనను ఉత్పత్తి చేయడానికి వివిధ రేట్ల వద్ద శోషించబడతాయి. ఇది వక్రీభవనం అంతర్లీన దృగ్విషయంగా ఉన్న డిస్పర్షన్ ప్రక్రియతో గందరగోళం చెందకూడదు. డిజిటల్ క్యామ్‌కార్డర్‌లలో RBG రంగులను వేరు చేయడానికి డైక్రోయిక్ ప్రిజమ్‌లను ప్రముఖంగా ఉపయోగిస్తారు. ఈ రోజుల్లో RBG విభజన కోసం బేయర్ ఫిల్టర్ వంటి మరిన్ని ఎంపికలు ఉన్నాయి.

వృత్తాకార డైక్రోయిజం మరియు వృత్తాకార బైరెఫ్రింగెన్స్ అనేది పదార్థం యొక్క ఆప్టికల్ యాక్టివిటీని వ్యక్తపరిచే రెండు దృగ్విషయాలు.

When the plane polarized light is passed through a rotating Nicol, it produces an intensity variation between a maximum and minimum with minimum intensity equal to zero.

Circularly polarized light:

When two plane polarized light rays with equal amplitudes superimpose with a phase difference of $\pi/2$, circularly polarized light is produced.

When a plane polarized light passes through a quarter wave plate with its optic axis normal to incident beam, circularly polarized light is generated.

When circularly polarized light passes through a QWP followed by rotating Nicol, plane polarized light is generated after QWP and after rotating Nicol, it produces an intensity variation with minimum intensity being zero.

Elliptically polarized light:

Elliptically polarized light is produced when two plane polarized lights with unequal amplitudes, but with a phase difference other than $\frac{\pi}{2}$, superimpose.

When polarized light falls on a QWP with its optic axis not parallel to plane of incidence, then it introduces a phase difference of other than $\pi/2$. Here amplitudes of O-ray and E-ray will be unequal due to orientation differences. Thus it produces elliptically polarized light.

Elliptically polarized light produces a variation in intensity with nonzero minimum when passed through rotating Nicol. Partially polarized light also produces similar effect when passed through rotating Nicol. To avoid the ambiguity, the light is first passed through QWP. Then it is converted into plane polarized light. Then if it is passed through rotating Nicol, a variation in intensity is observed with minimum being zero. Partially polarized light will also show a variation in intensity after passing through QWP followed by rotating Nicol. But the minimum in this case will not be zero.

3.10 Optical activity

Optical rotation or circular birefringence or polarization rotation is the phenomenon of rotation of orientation of axis of polarization when plane polarized light passes through certain materials.

Depending on the direction of rotation, the materials are classified into two types namely Dextro-Rotatory (d-rotatory) and Levo-Rotatory (L-Rotatory).

Circular dichroism is the exhibition of dichroism for circularly polarized light. Dichroism is a selective absorption phenomenon in which light rays with different polarization states will be absorbed at different rates to produce a separation of light rays, based on their wavelength.

This should not be confused with the dispersion process where refraction is the underlying phenomenon.

Dichroic prisms are popularly used to separate RBG colors in digital camcorders. Nowadays there are more options for the RBG separation, such as the Bayer filter.

Circular dichroism and circular birefringence are the two phenomena that manifest the optical activity of the material.

3.11 Laurent's half shade Polarimeter

Polarimeter is a setup used to study the specific rotation of solid and liquid samples. Laurent half shade Polarimeter is specifically designed for the measurement of specific rotation effects in liquid samples.

The setup consists of a monochromatic light source. The light rays from the source are made parallel by using a convex lens.

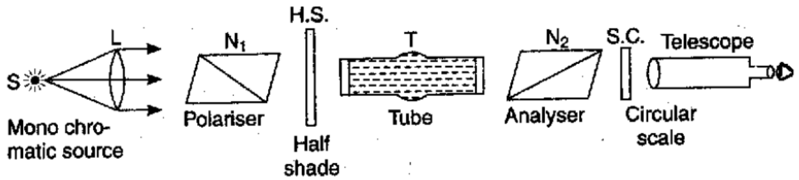


Fig: Laurent's Half shade Polari meter.

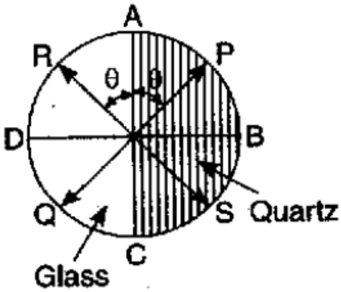
Further plane polarized light is generated by passing it through a Nicol prism.

There exists another Nicol prism which acts as the analyser. The sample to be studied is kept in between the two Nicols and the angle of rotation for complete cross configuration with and without sample is measured on a circular scale. The difference is a measure of the specific rotation of the given sample.

The sample is placed in a glass tube with plane glass plate enclosures. The centre of the glass tube is made bulgy to avoid any air bubbles in the path of the light rays.

The problem with this setup without half shade device is in the ambiguity in identifying the perfect cross configuration of the two Nicols. i.e.; one can't exactly identify the perfect darkness orientation of the two Nicols.

Half shade device overcomes this difficulty. The device consists of a combination of normal glass (ODC) and quartz glass (OBC) cut in two half circles and joined together to form a circular disk. Here the quartz half disk acts as a half wave plate.



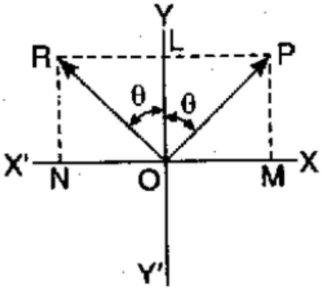


Fig: half shade device.

When a plane polarized light falls on the half shade device with axis of polarization oriented at some angle, say along OP, glass plate allows it directly and the quartz plate flips the E-ray by 180°. Thus the OM component flips to ON. In other words the vector OP flips to OR.

3.11 లారెంట్ హాఫ్ షేడ్ పోలారిమీటర్

పోలారిమీటర్ అనేది ఘన మరియు ద్రవ నమూనాల నిర్దిష్ట భ్రమణాన్ని అధ్యయనం చేయడానికి ఉపయోగించే సెటప్. లారెంట్ హాఫ్ షేడ్ పోలారిమీటర్ ప్రత్యేకంగా ద్రవ నమూనాలలో నిర్దిష్ట భ్రమణ ప్రభావాలను కొలవడానికి రూపొందించబడింది.

సెటప్‌లో మోనోక్రోమటిక్ లైట్ సోర్స్ ఉంటుంది. మూలం నుండి కాంతి కిరణాలు ఒక కుంభాకార లెన్స్ ఉపయోగించి సమాంతరంగా తయారు చేయబడతాయి.

నికోల్ ప్రిజం గుండా ప్రసరించడం ద్వారా మరింత సమతల ధృవణ కాంతి ఉత్పత్తి అవుతుంది.

విశ్లేషకుడిగా పనిచేసే మరో నికోల్ ప్రిజం ఉంది. అధ్యయనం చేయవలసిన నమూనా రెండు నికోల్స్ మధ్య ఉంచబడుతుంది మరియు నమూనాతో మరియు లేకుండా పూర్తి క్రాస్ కాన్ఫిగరేషన్ కోసం భ్రమణ కోణం వృత్తాకార స్కేల్‌లో కొలుస్తారు. వ్యత్యాసం ఇచ్చిన నమూనా యొక్క నిర్దిష్ట భ్రమణ కొలత అవుతుంది.

నమూనా గ్లాస్ ట్యూబ్‌లో ప్లేన్ గ్లాస్ ప్లేట్ ఎన్‌క్లోజర్‌లతో ఉంచబడుతుంది. కాంతి కిరణాల మార్గంలో గాలి బుడగలు పడకుండా ఉండటానికి గాజు గొట్టం మధ్యలో ఉబ్బెత్తుగా తయారు చేయబడింది.

హాఫ్ షేడ్ పరికరం లేని ఈ సెటప్‌తో సమస్య రెండు నికోల్స్ యొక్క ఖచ్చితమైన క్రాస్ కాన్ఫిగరేషన్‌ను గుర్తించడంలో అస్పష్టంగా ఉంది. అనగా; రెండు నికోల్స్ యొక్క ఖచ్చితమైన చీకటి ధోరణిని ఖచ్చితంగా గుర్తించలేము.

హాఫ్ షేడ్ పరికరం ఈ కష్టాన్ని అధిగమిస్తుంది. పరికరం సాధారణ గాజు (ODC) మరియు క్వార్ట్జ్ గ్లాస్ (OBC) కలయికను రెండు సగం వృత్తాలుగా కట్ చేసి, ఒక వృత్తాకార డిస్క్‌ను ఏర్పరుస్తుంది. ఇక్కడ క్వార్ట్జ్ హాఫ్ డిస్క్ హాఫ్ వేవ్ ప్లేట్‌గా పనిచేస్తుంది.

ఒక ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ లైట్ OP ధృవణ అక్షంతో ఏదో ఒక కోణంలో హాఫ్ షేడ్ డివైస్‌పై పడినప్పుడు, , గ్లాస్ ప్లేట్ దానిని నేరుగా అనుమతిస్తుంది మరియు క్వార్ట్జ్ ప్లేట్ E-రేని 180° తిప్పుతుంది. ఆ విధంగా OM భాగం ON కు తిప్పబడుతుంది. మరో మాటలో చెప్పాలంటే, OP వెక్టర్ OR కు తిప్పబడుతుంది.

ఎనలైజర్ OP దిశలో ఓరియెంటెడ్ అయితే, గ్లాస్ ప్లేట్ ముదురు రంగులో కనిపిస్తుంది మరియు ఎనలైజర్ OR దిశలో ఉంటే క్వార్ట్జ్ ప్లేట్ చీకటిగా కనిపిస్తుంది.

గ్లాస్ సగం మరియు క్వార్ట్జ్ సగం రెండూ సమానమైన ప్రకాశంతో ప్రత్యక్షమైన కాంతి యొక్క ధృవణ సమతలం OA దిశలో ఉన్నప్పుడే కనిపిస్తాయి.

గ్లాస్ హాఫ్ సర్కిల్ మరియు క్వార్ట్జ్ హాఫ్ సర్కిల్ యొక్క సమాన ప్రకాశాన్ని అందించిన ప్లేన్ పోలరైజ్డ్ కాంతి యొక్క ధృవణ అక్షం యొక్క విన్యాసాన్ని మరింత ప్రభావవంతంగా గుర్తించడం.

అందువల్ల ఎనలైజర్ నికోల్ హాఫ్ షేడ్ పరికరం యొక్క ఏకరీతి ప్రకాశం దిశలో లేకుండా మరియు ఆపై నమూనాతో ఉంటుంది. భ్రమణ కోణంలో వ్యత్యాసం ఇచ్చిన నమూనా ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన భ్రమణ కోణం.

If the analyser is oriented along OP, glass plate will appear dark and if the analyser is oriented along OR, the quartz plate appears dark.

Both glass half and Quartz half will appear with equal brightness only when the plane of polarization of the incident light is along OA.

Equal brightness of glass half circle and quartz half circle is a more effective identification of orientation of axis of polarization of the given plane polarized light.

Thus the analyser Nicol is oriented along the direction of uniform brightness of the half shade device without and then with sample. The difference in angle of rotation is the angle of rotation produced by the given sample.

The angle of optical rotation produced by the given sample is proportional to the concentration C of the sample and the length L of the tube in which the sample is kept.

Thus

$$\theta \propto C \ and \ \theta \propto L$$

Or

$$\theta \propto LC \quad \Rightarrow \quad \theta = SLC$$

Here S is the specific rotation of the given sample. Specific rotation is the amount of optical rotation produced by the given sample for 1 unit concentration of the sample and 1 unit length of the sample carrying tube. Thus,

$$S = \frac{\theta}{LC}$$

This is when L is measured in centimeters and C is measured in gm/cm^3. If the length is measured in decimetres ($1dm = 10cm$) then the equation changes to

$$S = \frac{10\theta}{LC}$$

ఇచ్చిన నమూనా ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన ఆప్టికల్ భ్రమణ కోణం నమూనా యొక్క సాంద్రత C మరియు నమూనా ఉంచబడిన ట్యూబ్ యొక్క పొడవు Lకి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

ఈ విధంగా

$$\theta \propto C \; and \; \theta \propto L$$

లేదా

$$\theta \propto LC \;\; \Rightarrow \;\; \theta = SLC$$

ఇచ్చిన నమూనా యొక్క నిర్దిష్ట భ్రమణం S ఇక్కడ ఉంది. నిర్దిష్ట భ్రమణ అనేది నమూనా యొక్క 1 యూనిట్ సాంద్రత మరియు నమూనా మోసే ట్యూబ్ యొక్క 1 యూనిట్ పొడవు కోసం ఇచ్చిన నమూనా ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన ఆప్టికల్ రొటేషన్ మొత్తం. ఈ విధంగా,

$$S = \frac{\theta}{LC}$$

ఇది L సెంటీమీటర్లలో మరియు C ని gm/cm^3 లో కొలిచినప్పుడు మాత్రమే. ఒకవేళ. పొడవును డెసిమీటర్లలో కొలిస్తే అప్పుడు సమీకరణం ఇలా మారుతుంది$(1dm = 10cm)$

$$S = \frac{10\theta}{LC}$$

3.12 LCD యొక్క ప్రాథమిక సూత్రం

లిక్విడ్ స్ఫటికాలు పొడవైన సేంద్రీయ చైన్ పాలిమర్ పదార్థాలు, ఇవి ద్రవ స్థితిలో కూడా వాటి స్ఫటికాకార క్రమాన్ని ఉంచుతాయి. దీనికి కారణం వాటి పొడవైన గొలుసు నిర్మాణాలు. విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఉపయోగించడం ద్వారా స్ఫటికాల విన్యాసాన్ని నియంత్రించవచ్చు.

లిక్విడ్ క్రిస్టల్ డిస్ప్లే (LCD) దిగువ సబ్‌స్ట్రేట్ స్థాయిలో కాంతి మూలాన్ని కలిగి ఉంటుంది, దాని తర్వాత ధృవణ వడపోత ఉంటుంది. ఆ పైన ద్రవ స్ఫటికాలు గాజు పలకల మధ్య ఉంచబడతాయి.

ద్రవ స్ఫటికాల శ్రేణి పైన, పారదర్శక ఎలక్ట్రోడ్‌లతో కూడిన గాజు షీట్ ఉంచబడుతుంది. ఎలక్ట్రోడ్ల ఆకారం ప్రదర్శించబడే అక్షరాల ఆకారాన్ని నిర్ణయిస్తుంది.

ఎలక్ట్రోడ్ గ్లాస్ ప్లేట్ మరొక ధృవణ వడపోతతో కప్పబడి ఉంటుంది. ఎలక్ట్రోడ్‌లకు వర్తించే విద్యుత్ క్షేత్రం లేనప్పుడు, ద్రవ స్ఫటికాలు ఎటువంటి అవరోధం లేకుండా మూలం నుండి పైభాగంలోని వడపోత పొరకు కాంతిని పంపే విధంగా ఉంటాయి.

ఎలక్ట్రోడ్‌లకు విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని వర్తింపజేసినప్పుడు, ద్రవ స్ఫటికాలు వాటి ధోరణిని మారుస్తాయి, తద్వారా విద్యుత్ క్షేత్రం వర్తించే నమూనా వెంట కాంతి నిరోధించబడుతుంది.

బ్యాక్ లైట్ అందించని సాధారణ LCDల కోసం, దిగువ పొరలో పరావర్తన పదార్థం ఉంటుంది. పై పొర నుండి బాహ్య కాంతి దిగువ పొరకు చేరుకుంటుంది మరియు ఎలక్ట్రోడ్‌లకు విద్యుత్ క్షేత్రం లేనప్పుడు ఎటువంటి అవరోధం లేకుండా తిరిగి ప్రతిబింబిస్తుంది. ఎలక్ట్రోడ్‌లకు విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని వర్తింపజేసినప్పుడు, ద్రవ స్ఫటికాల దిశలో మార్పు కారణంగా కాంతికి ఆటంకం ఏర్పడుతుంది.

3.12 Basic principle of LCD

Liquid crystals are the organic long chain polymer materials that keep their crystalline order even in liquid state. This is because of their long chain structures. The orientation of the crystals can be controlled by using electric field.

The Liquid Crystal Display (LCD) consists of a light source at the bottom substrate level followed by a polarizing filter. Above that the liquid crystals are kept enclosed in between glass plates.

Above the liquid crystals array, a glass sheet with transparent electrodes is kept. The shape of the electrodes decide the shape of the letters to be displayed.

The electrodes glass plate is covered by another polarizing filter. In the absence of the electric field applied to the electrodes, liquid crystals are oriented in such a way that the light passes from the source to the topmost filter layer without any obstruction.

When electric field is applied to the electrodes, liquid crystals change their orientation so that the light will be blocked along the pattern where electric field is applied.

For normal LCDs where back light is not provided, the bottom layer consists of a reflecting material. External light from the top layer reaches the bottom layer and reflects back without any obstruction in the absence of the electric field to the electrodes. When electric field is applied to the electrodes, light will be obstructed due to the change in orientation of the liquid crystals.

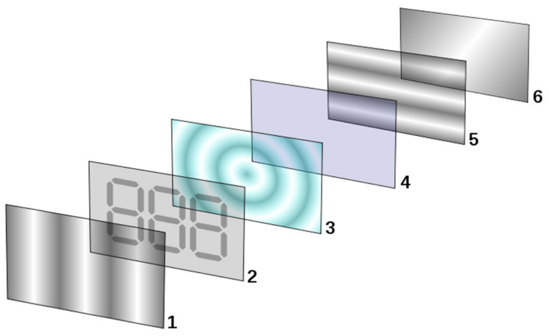
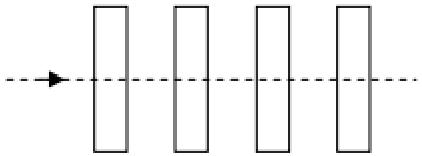


Fig: Structure of LCD

Solved Problems

1. A beam of unpolarized light of intensity I_0 falls on a system of four identical linear polarizers placed in a line as shown in figure. The transmission axes of any two successive polarizers make an angle of 30^0 with each other. If the transmitted light has intensity I , the ratio $\frac{I}{I_0}$ is



IITJAM 2020

a) $\frac{81}{256}$ b) $\frac{9}{16}$ c) $\frac{27}{64}$ d) $\frac{27}{128}$

Ans. : (d)

Solution: $I_1 = \frac{I_0}{2}, I_2 = \frac{I_0}{2}\cos^2 30^0 , I_3 = I_2 \cos^2 30^0 = \frac{I_0}{2}\cos^4 30^0$

$$I_4 = I_3 \cos^2 30^0 = \frac{I_0}{2}\cos^6 30^0 = \frac{I_0}{2}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^6 = \frac{27}{128} I_0$$

2. Consider a retarder with refractive indices $n_e = 1.551$and $1n_0 = 1.542$ along the extraordinary and ordinary axes, respectively. The thickness of this retarder for which a left circularly polarized light of wavelength 600nm will be converted into a right circularly polarized light is ______ μm. (Round off to 2 decimal place) IITJAM 2020

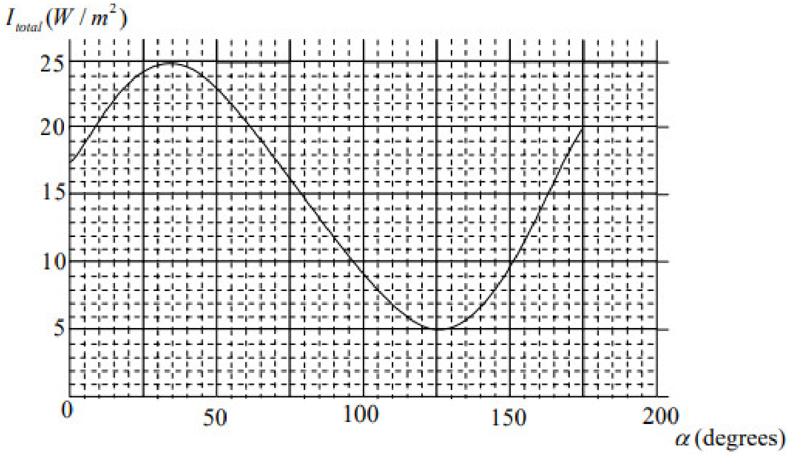
Ans : 33.3

Solution: $(n_e - n_0)t = \frac{\lambda}{2} => t = \frac{\lambda}{2(n_e - n_0)} = \frac{600\times10^{-9}}{2(1.551-1.542)} m$

⇨ t = $33.33\mu m$

3. A beam of light travelling horizontally consists of an unpolarized component with intensity I_0 and a polarized component with intensity I_p . The plane of polarization is

oriented at an angle θ with respect to the vertical. The figure



shows the total intensity I_{total} after the light passes through a polarizer as a function of the angle α , that the axis of the polarizer makes with respect to the vertical. Identify the correct statements(s)

a) $\boldsymbol{\theta = 125^0}$ **b)** $\boldsymbol{I_p = \frac{5W}{m^2}}$ **c)** $\boldsymbol{I_0 = 17.5W/m^2}$

d) $\boldsymbol{I_0 = 10W/m^2\ ,\ I_p = 20W/m^2}$

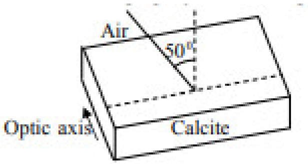
IITJAM 2021

Ans: d

Sol: $\boldsymbol{I_{total} = \frac{I_0}{2} + I_p cos^2\theta, I_{min} = \frac{I_0}{2} = 5W/m^2 \Rightarrow I_0 = 10W/m^2}$

$$\boldsymbol{I_{max} = \frac{I_0}{2} + I_p = 25 \Rightarrow I_p = 20W/m^2}$$

4. Unpolarized light is incident on a calcite plate at an angle of incidence 50^0 as shown in figure. Take n_0 =1.6584 and n_e = 1.4864 for calcite. Find the angular separation between the two emerging rays within the plate.



Solution: Inside the crystal, incident light split into two components, ordinary ray and extraordinary ray

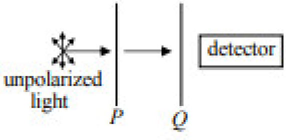
Using snell's law, we can obtain,

Angle refraction for ordinary ray $r_0 = \sin^{-1} [\sin 50^0/n_e] = \sin^{-1} [0.766/1.6584] = 27.51^0$

Angle of refraction for extra ordinary ray $r_e = \sin^{-1} [\sin 50^0/n_0] = \sin^{-1} [0.766/1.4864] = 31.02^0$

Thus, the angular separation between the o-ray and e-ray is $r_e - r_o = 3.51^0$

5. In the optical arrangement as shown below, the axes of two polarizing sheets P and Q are oriented such that no light is detected. Now when a third polarizing sheet R is placed between P and Q , then light is detected. Which of the following statements are true?



a. Polarization axes of P and Q are perpendicular to each other
b. Polarization axes of R is not parallel to P
c. Polarization axes of R is not parallel to Q
d. Polarization axes of P and Q are parallel to each other

Ans: a, b and c

Sol: From Malu's law

$I = I_o/2 \cos^2 t$ where t is angle between polarization axis of P and Q

Given no light is detected in detector. ie $I = 0 \Rightarrow t = 90^0$ Option a is correct

Now, If R is introduced between P and Q making an angle t_1 w.r.t to polarization axis of P, then $90^0 - t_1$ is w.r.t to Q

⇨ $I = I_o/2 \cos^2 t_1 \cos^2 (90^0 - t_1)$

Given now light is detected in detector ie neither t_1 =zero nor $t_1 = 90^0$ Hence option b and c also correct

6. Three polarizers P , Q and R are placed parallel to each other with their planes

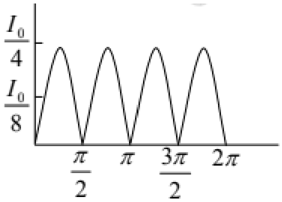
perpendicular to the z -axis. Q is placed between P and R . Initially the polarizing

directions of P and Q are parallel, but that of R is perpendicular to them. In this

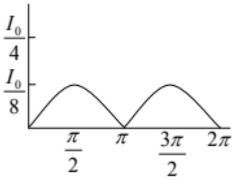
arrangement when unpolaized light of intensity I0 is incident on P , the intensity coming

out of R is zero. The polarizer Q is now rotated about the z -axis. As a function of angle

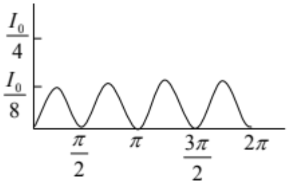
of rotation, the intensity of light coming out of R is best represented by .



a.



b.



c.

d. None

Solution: $I_1 = \frac{I_0}{2}$

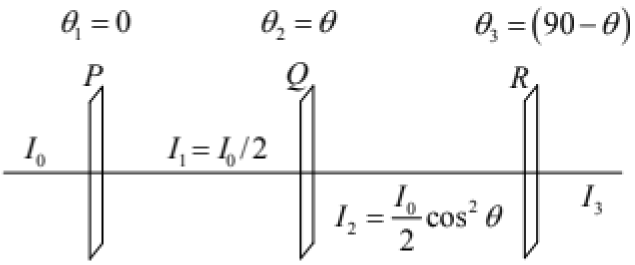
$$I_2 = \frac{I_0}{2}\cos^2\theta$$

$$I_3 = \frac{I_0}{2}\cos^2\theta\cos^2(90-\theta)$$

$$\theta = 0 \rightarrow I_3 = 0$$

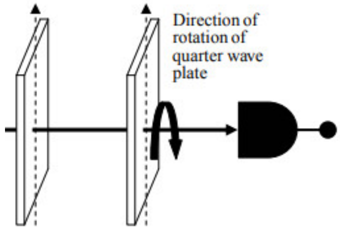
$$\theta = 45 \rightarrow I_3 = \frac{I_0}{2}\cos^2 45\cos^2 45$$

$$\theta = 90^0 \rightarrow I_3 = 0$$



Ans: b

7. A quarter-wave plate is placed in between a polarizer and a photo-director. When the optic axis of the quarter-wave plate is kept initially parallel to the pass axis of the polarizer and perpendicular to the direction of light propagation. The intensity of light passing through the quarter-wave plate is measured to be I0(see figure). If the quarter wave plate is now rotated by 450 about an axis parallel to the light propagation, what would be the intensity of the emergent light measured by the photo-director?



(a) $\frac{I_0}{\sqrt{2}}$ (b) $\frac{I_0}{2}$ (c) $\frac{I_0}{2\sqrt{2}}$ (d) I_0

Ans: d

IITJAM 2021

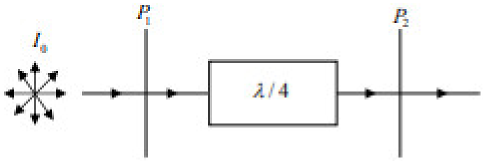
After passing through QWP plane polarized light of intensity will convert into circularly polarized with intensity I_0

8. Unpolarized light of intensity I_0 passes through a polarizer P_1. The light coming out of the polarizer falls on a quarter wave plate with its optical axis at 45^0 with respect to the polarization axis of P_1 and then passes through another

polarizer P_2 with its polarization axis perpendicular to that of P_1. The intensity of light coming out of P_2 is I. Find the ratio of I and I_0

Ans: 4

Solution:

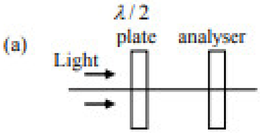


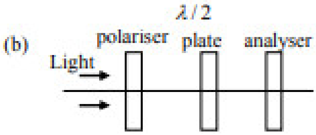
After P2, the intensity using Malu's law, $I = I_0/4 \sin^2(2t)$

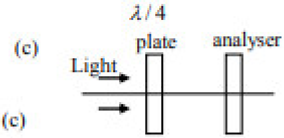
When $t = 45^0$

⇨ $I = I_0/4$

9. Which of the following arrangement of optical components can be used to distinguish between an unpolarized light and a circularly polarized light?







Ans.: (c)

Solution: In the option a and b , out put will be linearly polarized for both. So we can not use this configuration

And in option c, output will be linearly polarized of constant intensity if input is unpolarized where as linearly polarized of varying intensity from zero to maximum if input is circularly polarized. Hence option c is correct

10. The plan of polarization of a plane polarized light rotates by 60^0 after passing through a wave plate. The pass axis of the wave plate is at an angle t w.r.t. plane of polarization of the incident light. The wave plate and t are

a) $\lambda/4, 60^0$ b) $\lambda/2, 30^0$ c) $\lambda/2, 120^0$
d) $\lambda/4, 30^0$

Ans: b

Solution: When plane polarized light is incident on the π/4 plate, it converts it into circularly polarized light, where as the π/2 plate rotates by an angle 2t

Hence $2t = 60^0 \Rightarrow t = 30^0$

MCQs

1. Consider a beam of light of wavelength λ incident on a system of a polarizer and an analyzer. The analyzer is oriented at 45^0 to the polarizer. When an optical component is introduced between them, the output intensity becomes zero. (Light is incident normally on all components). The optical component is

   (a) a full-wave plate (b) a half-wave plate

   (c) a quarter-wave plate (d)an ordinary glass plate

   Ans.: (b)

2. A beam of unpolarized light incident on a reflecting surface at the Brewster angle. Which of the following statements is correct?

   A. The reflected light is partially polarized perpendicular to the plane of incidence.

   B. The reflected light is 100% polarized perpendicular to the plane of incidence.

   C. The transmitted light is 100% polarized perpendicular to the plane of incident

   D. The transmitted light is partially polarized perpendicular to the plane of incidence.

   HCU 2021

Ans:B

3. The State of polarization of the wave $\vec{E} = E_0 sin(\omega t - kz)\hat{\imath}$+$E_0 sin(\omega t - kz - \frac{\pi}{4})\hat{\jmath}$ is

A)Circular 45° with X-axis and clockwise rotating

B) Elliptical 45° with X-axis and clockwise rotating

C) Circular 45° with X-axis and counter-clockwise rotating

D) Elliptical 45° with X-axis and counter clockwise rotating

HCU 2021

Ans:D

4. The thickness of a zero order half-wave plate made using a material with a difference of 0.2 between the extraordinary and ordinary refractive indices for a light of 600 nm is $(in\ \ \mu m)$

A. 6.0 B. 3.0 c. 1.5 D. 1.2

HCU 2021

Ans:C

5. Unpolarized light is incident on a polarizer, followed by a half wave plate and then a quarter wave plate. If the axes of all these optical components arc parallel to each other, the output light is

A. linearly polarized. B. elliptically polarized.

C. circularly polarized. D. unpolarized

HCU 2020

6. Ordinary and extraordinary refractive indices of a calcite crystal respectively are 1.658 and 1.486. The thickness of this crystal, required to convert linearly polarized light at 589 nm to circularly polarized light, is

a .0.86 μm b. 0.96 μm c. 0.76. μm d. 0.66 μm

HCU 2020

7. If the polarizer and Analyzer are at an angle of $45°c$ to each other, the intensity of the outcoming beam is

a) $I = \frac{I_0}{4}$ b) $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ c) $I = \frac{I_0}{2}$ d) $I = I_0$

AUCET 2020

8. Polarization of light conclusively proves that

a) light waves are longitudinal b) light waves are transverse

c) light waves are stationery d) light waves are longitudinal and transverse

AUCET 2020

9. For a quartz $\mu_Q = 1.533$ and for $\lambda = 4000A$ then the thickness of the halfwave plate should be

a) 0.5 x 10^{-4} cm b) 1 cm c)0.1 cm d) 1 x 10^{-3} cm

AUCET 2020

10. To convert elliptically polarized light into circularly polarized light, we must use

a) two quarter wave plates c) one quartz wave plate and one half wave plate

b) one quarter wave plate. d) two half wave plates.

AUCET 2020

11. A glass plate of refractive index 1.5 is used as a polarized.The angle of polarization is

a) $Cos^{-1}(1.5)$ b) $Tan^{-1}(1.5)$ c) $Sec^{-1}(1.5)$ d) $Sin^{-1}(1.5)$

AKNU 2020

12. When the Young's experiment is carried out in air, the band width is 0.4 mm. If it is carried out in water, then band width is

a) $3 X 10^{-5}$ m b) $2 X 10^{-5}$ m c) $4.5 X 10^{-5}$ m d) 0

AKNU 2020

13. The radius of the first zone in a plate of focal length 15 cm for light of $6000A^0$

a)$3 X 10^4$ m b) $3 X 10^5$ m c) $3 X 10^{-4}$ m d) $3 X 10^{-3}$ m

AKNU 2020

14. Two Polaroids are adjusted so as to obtain maximum intensity. The Angle through which one Polaroid be rotated to reduce the intensity to ¼

a)45° b) 60° c) 90° d) 180°

AKNU 2020

15. A calcite crystal is placed over a dot on a paper and rotated on viewing through calcite, one will see

a) A single dot b) Two stationary dots c) Two rotating dots d) One dot rotating about the other

AKNU 2020

16. To very that the light beam is either unpolarized or circularly polarized one requires to use

a)a half wave plate and a polarizer b)a quarter wave plate c) a quarter wave plate and half wave plate d) a quarter wave plate and a polarizer

Ans: d

17. Which of the following optical components is critical to differentiate between an unpolarized light and a circularly polarized light

a) half way plate b) quarter wave plate c) polarizer d) half wave plate and polarizer

Ans: b

18. Unpolarized light is incident on a polarizer.The ratio of transmitted to incident intensity will be

a) Zero b)1/4 c)1/2 d)1

Ans: c

19. The refractive index of a given piece of transparent quartz is largest for

    a) red light b) Violet light c)yellow light d)green light

Ans: b

20. In an anisotropic crystal, the refractive index is

    a) Small in all directions b) different in different directions

    c) not a valid Define d) Infinity large

Ans: b

21. Unpolarized light is incident on a combination of polarizer, a $\lambda/2$ plate and a $\lambda/2$ and a $\lambda/4$ plate kept one after the other. What will be the output polarization for the following configurations

    1. Axes of the polarizer , the $\lambda/2$ plate and the a $\lambda/4$ plates are parallel to each other
    2. The $\lambda/2$ plate is rotated by 45^0 w.r.t configuration 1
    3. The $\lambda/4$ plate is rotated by 45^0 w.r.t configuration 1

    a) Linear for configuration 1, Linear for configuration 2, circular for configuration 3

    b) Linear for configuration 1, circular for configuration 2, circular for configuration 3

    c) circular for configuration 1, linear for configuration 2, circular for configuration 3

    d) circular for configuration 1, circular for configuration 2, circular for configuration 3

Ans: b

Grade your understanding

1. The plane of oscillation and plane of polarization of the polarized light are parallel to each other [ ]
2. Polarization can shows particle as well as wave nature of light [ ]

3. Plane polarized light can be produced by simple reflection [ ]
4. Substances that polarize an unpolarized light are called Optically active substances [ ]
5. When a light is incident at the polarizing angle, both reflected and refracted light is completely polarized [ ]
6. From Brewster's Law, angle of polarization does not depends on wavelength of light [ ]
7. Nicol Prism cannot produce circularly polarized light but can analyze it [ ]
8. Refractive index of ordinary and extra ordinary rays depends only on the material of crystal used [ ]
9. Sound waves cannot be polarized [ ]
10. The light from a liquid crystal Display(LCD) is polarized [ ]
11. We can see smart mobile screen in bright sunlight ,if the screen is LCD [ ]

Check: 1. No 2. No 3. Yes 4. No 5. No 6. No 7.Yes 8. No 9. Yes 10. Yes 11.Yes

Glossary

Glossary	
Analyzer	An optical devise that analyze whether light is polarized or not
Birefringence	Splitting of a ray in to two rays after entering an optical medium (double refraction)
Circular polarization	Polarization in which the magnitude of light ray does not change while rotating ie electric vector rotates along a circle
Critical angle	The angle of incidence beyond which it gets totally reflected back
Cross section	The shape of slice cut across an object
Crystals	A homogeneous solid piece with symmetrical place faces and Natural regular shape
Elliptical polarization	Polarization in which the magnitude of light ray changes while rotating ie electric vector rotates

	along an ellipse about the direction of propagation
Extra ordinary ray	Light rays that does not obey ordinary laws of refraction
Hexagonal structure	Honeycomb like structure
Longitudinal Wave	Wave in which the disturbed particles vibrate parallelly to the wave propagation direction
Obtuse angle	An Angle between 90^0 *to* 180^0
Optic axis	The unique crystallographic axis having refractive index differently from other axes
Plane polarization	Process restricting the vibration of light(EM radiation) to one direction
Principal section	A plane passing through optic axis
Polarizer	An optical filter that convert unpolarized light into polarized light
Polarimeter	An instrument that measures the amount of polarization/rotation of plane of polarization
Polariscope	The polarimeter which is used for liquids especially
Specific Rotation	A quantity that expresses the intensity of an optical activity
Transverse wave	Wave in which the disturbed particles vibrate perpendicularly to the wave propagation direction
Uniaxial crystals	Crystals having single optic axis
Unpolarized light	A light wave with its electric field vector vibrates in more than one plane
Wave Plate	An optical devise that alters polarization state of light travelling through it

UNIT-4

ABERRATINS and FIBER OPTICS

ఎబరేషన్స్ మరియు ఆప్టికల్ ఫైబర్స్

CHAPTER 4

ఎబరేషన్స్ మరియు ఆప్టికల్ ఫైబర్స్

శిక్షణ లక్ష్యాలు

ఈ అధ్యాయంలో విద్యార్థులు ఇవి నేర్చుకుంటారు,

1. ఏకవర్ణ అబెర్రేషన్లు మరియు వాటి కనిష్టీకరణ.
2. క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్ మరియు దాని కనిష్టీకరణ.
3. వివిధ రకాల ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లు మరియు వాటి మోడ్‌లు.
4. ఆప్టికల్ ఫైబర్ కమ్యూనికేషన్ సిస్టమ్ మరియు దాని ప్రయోజనాలు.

అభ్యసన ఫలితాలు

ఈ పాఠం పూర్తయ్యేసరికి విద్యార్థులు

1. ఆప్టికల్ ఫైబర్స్ యొక్క వివిధ అబెర్రేషన్లు మరియు రకాలను గుర్తించగలరు .
2. ఆప్టికల్ ఫైబర్స్‌లోని వివిధ అబెర్రేషన్లు మరియు మోడ్‌ల కారణాన్ని, ఆప్టికల్ ఫైబర్ కమ్యూనికేషన్ సూత్రాన్ని వివరించగలరు .
3. తగిన అబెర్రేషన్ కనిష్టీకరణ పద్ధతులను వర్తింపజేయగలరు .
4. వివిధ రకాల అబెర్రేషన్లు మరియు ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లను వర్గీకరించగలరు .
5. అబెర్రేషన్ కనిష్టీకరణ పద్ధతులకు తగిన పద్ధతులను ఎంచుకోగలరు. .
6. అబెర్రేషన్లను తగ్గించడానికి నిర్దిష్ట అనువర్తనానికి అనువైన నమూనా వ్యవస్థలను రూపొందించగలరు .

ABERRATIONS and FIBER OPTICS

CHAPTER 4

Syllabus

Monochromatic aberrations, Spherical aberration, Methods of minimizing spherical aberration, Coma, Astigmatism and Curvature of field, Distortion; Chromatic aberration-the achromatic doublet; Achromatism for two lenses (i) in contact and (ii) separated by a distance. Fiber Optics: Introduction to Fibers, different types of fibers, rays and modes in an optical fiber, Principles of fiber communication (qualitative treatment only), Advantages of fiber optic communication.

Learning Objectives

In this chapter students would learn about,

5. Monochromatic aberrations and their minimization.
6. Chromatic aberration and its minimization.
7. Different types of optical fibers and their modes.
8. Optical fiber communication system and its advantages.

Learning Outcomes

By the end of the chapter, student would be equipped with adequate knowledge to

7. Identify various aberrations and types of optical fibers.
8. Describe the cause of various aberrations and modes in optical fibers, principle of optical fiber communication.
9. Apply suitable aberration minimization techniques.
10. Classify various types of aberrations and optical fibers.
11. Select suitable methods of aberration minimization techniques.
12. Design prototype systems suitable for specific application to minimize aberrations.

వివిధ ప్రోగ్రాం లకు చెందిన నిర్దిష్ట ఫలితాలు మరియు భవిష్యత్ దిశానిర్దేశకాలు

ఈ అధ్యాయం ముగిసే సమయానికి నిర్దిష్ట ప్రోగ్రామ్‌ల నుండి విద్యార్థులు దీనిని అర్థంచేసుకోగలరు.

1. భౌతిక శాస్త్రం: వివిధ ఆప్టికల్ పరికరాలకు వాటి సరైన రూపకల్పన మరియు ఆపరేషన్ కోసం అబెర్రేషన్ల గురించి సమాచారం అవసరం.
2. రసాయన శాస్త్రం: వివిధ స్పెక్ట్రోస్కోపిక్ పద్ధతులు, SEM, TEM మొదలైనవి క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్‌కు గురవుతాయి, వీటిని సర్దుబాటు చేయాలి.
3. కంప్యూటర్లు: వివిధ ఆప్టికల్ సాధనాల ఆటోమేషన్‌కు అబెర్రేషన్ల ఆటోమేటిక్ కరెక్షన్ ప్రోగ్రామ్‌లు అవసరం.
4. భూగర్భ శాస్త్రం: వివిధ రత్నాల రాళ్ల అధ్యయనానికి ఉపయోగించే ఆప్టికల్ సాధనాల్లో అబెర్రేషన్ దిద్దుబాట్లు అవసరం.
5. ఎలక్ట్రానిక్స్: ఆప్టికల్ ఫైబర్ కమ్యూనికేషన్ సిస్టమ్ మొత్తం కమ్యూనికేషన్ వ్యవస్థలను విప్లవాత్మకంగా మార్చింది.
6. REM: సాంద్రీకృత సోలార్ థర్మల్ మరియు ఫోటోవోల్టాయిక్ సిస్టమ్‌లలో ఉపయోగించే ఫ్రెనెల్ లెన్స్‌లకు క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్ కరెక్షన్ అవసరం.
7. గణాంకాలు: అబెర్రేషన్ దిద్దుబాట్ల యొక్క గణాంక విశ్లేషణ మెరుగైన ఆటోమేటెడ్ సిస్టమ్ అభివృద్ధికి మార్గాన్ని అందిస్తుంది, ముఖ్యంగా బయో-ఆప్టో-ఎలక్ట్రానిక్ సెన్సార్‌లకు సంబంధించినది.

సుపరిచితం నుండి అపరిచితం వరకు

మీ 11వ తరగతిలో మీరు రిఫ్రాక్టివ్ ఇండెక్స్ మరియు క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్‌ల తరంగదైర్ఘ్యం ఆధారపడటం గురించి తెలుసుకుని ఉండవచ్చు. మీరు విక్షేపం మరియు వక్రీకరణ మొదలైన వాటి కారణంగా కొన్ని ఇతర అబెర్రేషన్ల గురించి కూడా తెలుసుకుని ఉండవచ్చు. మీరు ఆప్టికల్ ఫైబర్‌ల ప్రాథమిక పని సూత్రం మరియు కమ్యూనికేషన్ సిస్టమ్ యొక్క ప్రాథమిక నిర్మాణం, కమ్యూనికేషన్ సిస్టమ్‌లో ఆప్టికల్ ఫైబర్‌ల ప్రయోజనం మొదలైనవాటిలో పూర్తి అంతర్గత పరావర్తనాన్ని నేర్చుకున్నారు. ఈ అధ్యాయంలో మీరు వివిధ రకాల మోనోక్రోమటిక్ మరియు పాలీక్రోమటిక్ అబెర్రేషన్‌లు మరియు వాటి కనిష్టీకరణ పద్ధతులు, వివిధ రకాల ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లు, ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లలో సిగ్నల్ ట్రాన్స్‌మిషన్ మోడ్‌లు, ఆప్టికల్ ఫైబర్ కమ్యూనికేషన్ సిస్టమ్ యొక్క సరళమైన డిజైన్ మరియు దాని ప్రయోజనాల గురించి నేర్చుకుంటారు.

.

Course Outcomes specific to program and Future directions

By the end of this chapter students from specific programs would be in a position to understand that

1. Physics: Various optical instruments need information about aberrations for their proper design and operation.
2. Chemistry: Various spectroscopic techniques, SEM, TEM etc. are prone to chromatic aberration which is to be adjusted.
3. Computers: Automation of various optical instruments need automatic correction programs for aberrations.
4. Geology: Study of various gem stones require aberration corrections in the optical instruments used.
5. Electronics: Optical fiber communication system has revolutionized the entire communication systems.
6. REM: Fresnel lenses used in concentrated solar thermal and photovoltaic systems require chromatic aberration correction.
7. Statistics: Statistical analysis of aberration corrections give a pathway to better automated system development, especially related to bio-opto-electronic sensors.

Familiar to Unfamiliar

In your 11th class you might have learned about wavelength dependence of refractive index and chromatic aberrations. You might also have learned about a few other aberrations due to diffraction and distortion etc. You might have learned total internal reflection as the basic working principle of optical fibers and the basic structure of communication system, advantage of optical fibers in communication system etc. In this chapter you will learn about various types of monochromatic and polychromatic aberrations and their minimization techniques, various types of optical fibers, modes of signal transmission in optical fibers, simple design of optical fiber communication system and its advantages.

4.1 పరిచయం

ఆప్టికల్ అబెర్రేషన్స్ యొక్క అధ్యయనం రోజువారీ జీవితంలో, పరిశ్రమలు మరియు పరిశోధనా రంగాలలో తన సవాలక్ష అవసరాలు మరియు అనువర్తనాల కోసం ఆప్టిక్స్‌లో దాని స్వంత శాఖను ఏర్పాటు చేసింది. కాంతి మూలాల తరంగదైర్ఘ్యంతో పోల్చితే ఉన్న వస్తువుల పరిమాణం భారీగా ఉన్నందున ఈ అధ్యయనం రేఖాగణిత ఆప్టిక్స్ కింద వస్తుంది.

రేఖాగణిత ఆప్టిక్స్‌లో పరిగణించబడే లీనియర్ ఉజ్జాయింపు, ఆప్టికల్ పరికరాల లెన్స్ మరియు మిర్రర్ సిస్టమ్‌లలో ఇమేజ్ ఫార్మేషన్‌లో అబెర్రేషన్కు గణనీయమైన సహకారం అందిస్తుంది.

కోణాల యొక్క చిన్న విలువల కోసం, $\sin\theta$ సుమారుగా అంచనా వేయవచ్చు

$$\sin\theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \cdots \simeq \theta \simeq \tan\theta$$

ఈ ఉజ్జాయింపుతో, స్నెల్ యొక్క నియమం అవుతుంది.$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} \simeq \frac{i}{r} \simeq \frac{\tan i}{\tan r}$

ఈ ఉజ్జాయింపును గాస్సియన్ లేదా పారాక్సియల్ ఉజ్జాయింపు అంటారు మరియు ఈ ఉజ్జాయింపు ఆధారంగా అభివృద్ధి చేయబడిన ఆప్టిక్స్‌ను గాస్సియన్ ఆప్టిక్స్ లేదా పారాక్సియల్ ఆప్టిక్స్ అంటారు.

ఈ ఉజ్జాయింపుని ఉపయోగించి, లెన్స్ మేకర్ సూత్రాన్ని చేరుకోవచ్చు

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

E - Corner

https://demonstrations.wolfram.com/LensmakersEquation/
https://phys.libretexts.org/@go/page/4495
https://phys.libretexts.org/@go/page/18463
https://hsm.stackexchange.com/q/11957
https://opg.optica.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-27-14-19712

Activity

Verify the variation of focalpoint as a function of refractive index in Wolfram demonstrations.

4.1 Introduction

The study of optical aberrations has made its own branch in optics for its ever challenging needs and applications in daily life, industry and research fields. This study comes under geometrical optics as the size of the objects involved is huge compared to the wavelength of the light sources.

The linear approximation considered in geometrical optics makes a considersble contribution to the aberration in the image formation in the lens and mirror systems of the optical instruments.

For small values of angles, $\sin\theta$ may be approximated as

$$\sin\theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \cdots \simeq \theta \simeq \tan\theta$$

With this approximation, snell's law becomes $\mu = \frac{\sin i}{\sin r} \simeq \frac{i}{r} \simeq \frac{\tan i}{\tan r}$. This approximation is called Gaussian or paraxial approximation and the optics developed based on this approximation is called Gaussian optics or paraxial optics.

Using this approximation, one can arrive at the Lens Maker's formula given by

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

as well as the thin lens equation given by

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

The lens maker's equation shows that for a fixed wavelength (i.e.; for a fixed refractive index), focal length depends only on the radius of curvature of the refracting surfaces.

i.e.; when monochromatic parallel beam falls on the lens, all rays will be focused on to the focal point. But if the refractive index varies or, in other words, if the light wavelength varies, then the focal length also varies. Thus light with different wavelengths will be focused onto different focal lengths. This error is called chromatic aberration.

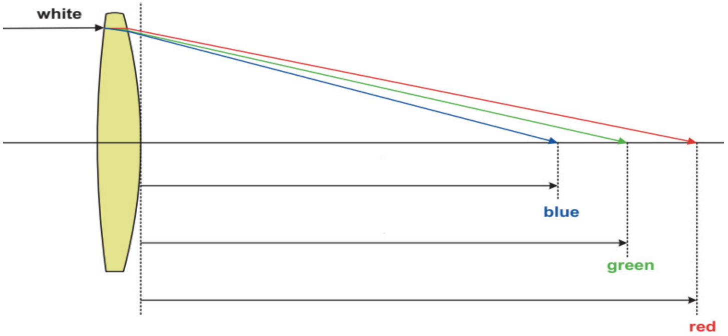


Fig: Longitudinal chromatic aberration.

Similarly if the object is off the axis, one can observe lateral chromatic aberration. In both the cases, one can see that the blue colored ray refracts more and focuses first compared to red colored ray.

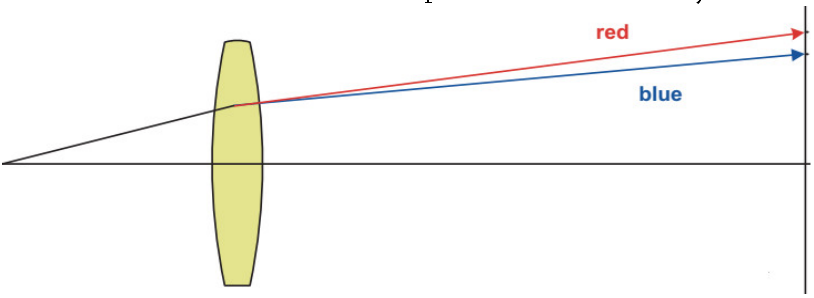


Fig: Lateral chromatic aberration.

Thus one can conclude that the chromatic aberration can be seen within the linear approximation of Snell's law or within Gaussian approximation or within paraxial approximation.
Further, Seidel in 1856 extended the Gaussian approximation up to third order terms and arrived at the possibility of other monochromatic aberrations.
According to Seidel, the location of the image formed in the x-y plane of an object produced by a lens system is as given below.

$$\Delta P_{nx} = A_1(\rho S\phi) + B_1(\rho^3 S\phi) + B_2 h_o \rho^2 S(2\phi) + (B_3 + B_4)h_o^2(\rho S\phi)$$

and

$$\Delta P_{ny} = A_2 h_o + A_1(\rho C\phi) + B_1(\rho^3 C\phi) + B_2 h_o \rho^2[2 + C(2\phi)] + (3B_3 + B_4)h_o^2(\rho C\phi) + B_5 h_o^3$$

Here the study is carried out for an object of height h_o in cylindrical coordinate system (ρ, ϕ, z).

In the above, A_1 is the coefficient corresponding to transverse defocus aberration and A_2 deals with lateral magnification in the image plane. The terms B_1, B_2, B_3, B_4,and B_5 are referred to as the Seidel primary ray aberration coefficients of spherical aberration, coma, astigmatism, field/Petzval curvature, and distortion, respectively.
If higher order corrections are also considered, one can observe oblique spherical aberration, piston etc. types of aberrations. In the later part of the chapter, explanation for varous types of aberrations and minimization techniques for a few of them are discussed in detail.

When light falls on the boundary separating two different media, it may be reflected or transmitted or may be partially reflected and partially transmitted.
The laws of reflection and refraction are stated in the following:

Fermat Principle of Least Path: Reflection laws of Light

1. Incident Ray, Reflected ray and Normal to the reflecting surface lie in the same plane.
2. Angle of incidence is same as the angle of reflection.
3. The path taken by the light ray is decided by the least distance. This is because velocity remains constant during reflection into same medium, the complementary part for momentum in the action variable being the position or distance. Thus the least distance or least path length condition decides the best path.

Consider a light ray AO that is incident on a smooth reflecting surface and reflects back into the same medium as OB in the x-y plane. Keeping the origin at the bottom left corner of the image, the coordinates of A, O, B are given by $(0, y_1)$, $(x, 0)$, (x_2, y_2) respectively. Let i and r be the angle of incidence and angle of reflection respectively.

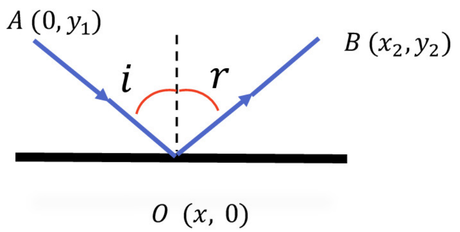


Fig: Reflection of light.

అలాగే అందించిన సన్నని లెన్స్ సమీకరణం

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$$

లెన్స్ తయారీదారు యొక్క సమీకరణం స్థిర తరంగదైర్ఘ్యం కోసం (అంటే; స్థిర వక్రీభవన గుణకం కోసం), ఫోకల్ లెన్త్ వక్రీభవన ఉపరితలాల వక్రత యొక్క వ్యాసార్థంపై మాత్రమే ఆధారపడి ఉంటుంది.

అనగా; మోనోక్రోమటిక్ సమాంతర పుంజం లెన్స్‌పై పడినప్పుడు, అన్ని కిరణాలు కేంద్ర బిందువుపై కేంద్రీకరించబడతాయి. కానీ వక్రీభవన గుణకం మారుతూ ఉంటే లేదా మరో మాటలో చెప్పాలంటే, కాంతి తరంగదైర్ఘ్యం మారినట్లయితే, అప్పుడు ఫోకల్ లెన్త్ కూడా మారుతూ ఉంటుంది. అందువలన వివిధ తరంగదైర్ఘ్యాలతో కాంతి వివిధ ఫోకల్ లెన్త్‌పై కేంద్రీకరించబడుతుంది. ఈ లోపాన్ని క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్ అంటారు.

అదే విధంగా వస్తువు అక్షానికి దూరంగా ఉన్నట్లయితే, పార్శ్వ క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్‌ను గమనించవచ్చు. రెండు సందర్భాల్లో, ఎరుపు రంగు కిరణాలతో పోలిస్తే నీలం రంగు కిరణం ఎక్కువగా వక్రీభవనం చెంది, మొదట కేంద్రీకరిస్తుంది.

అందువల్ల స్నెల్ నియమం యొక్క సరళ ఉజ్జాయింపులో లేదా గాస్సియన్ ఉజ్జాయింపులో లేదా పారాక్సియల్ ఉజ్జాయింపులో క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్ చూడవచ్చని ఒకరు నిర్ధారించవచ్చు.

ఇంకా, సీడెల్ 1856లో గాస్సియన్ ఉజ్జాయింపును మూడవ ఆర్డర్ నిబంధనల వరకు పొడిగించారు మరియు ఇతర ఏకవర్ణ అబెర్రేషన్లకు అవకాశం కల్పించారు.

సీడెల్ ప్రకారం, లెన్స్ సిస్టమ్ ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన వస్తువు యొక్క xy తలం లో ఏర్పడిన చిత్రం యొక్క స్థానం క్రింద ఇవ్వబడింది.

$$\Delta P_{nx} = A_1(\rho S\phi) + B_1(\rho^3 S\phi) + B_2 h_o \rho^2 S(2\phi) + (B_3 + B_4)h_o^2(\rho S\phi)$$

మరియు

$$\Delta P_{ny} = A_2 h_o + A_1(\rho C\phi) + B_1(\rho^3 C\phi) + B_2 h_o \rho^2[2 + C(2\phi)] + (3B_3 + B_4)h_o^2(\rho C\phi) + B_5 h_o^3$$

ఇక్కడ అధ్యయనం h_o ఎత్తులో ఉన్న వస్తువు కోసం నిర్వహించబడుతుంది స్థూపాకార కోఆర్డినేట్ వ్యవస్థ .(ρ, ϕ, z) లో

పైన పేర్కొన్నదానిలో, .A_1 ట్రాన్స్వర్స్ డిఫోకస్ అబెర్రేషన్‌కు సంబంధించిన గుణకం మరియు ఇమేజ్ ప్లేన్‌లో A_2 పార్శ్వ మాగ్నిఫికేషన్‌తో వ్యవహరిస్తుంది. నిబంధనలు B_1, B_2, B_3, B_4 , మరియు B_5 వరుసగా గోళాకార అబెర్రేషన్, కోమా, ఆస్టిగ్మాటిజం, ఫీల్డ్/పెట్జ్వాల్ వక్రత మరియు వక్రీకరణ యొక్క సీడెల్ ప్రైమరీ రే అబెర్రేషన్ కోఎఫిషియంట్స్‌గా సూచిస్తారు

హైయర్ ఆర్డర్ బిద్దుబాట్లు కూడా పరిగణనలోకి తీసుకుంటే, వాలుగా ఉండే గోళాకార అబెర్రేషన్, పిస్టన్ మొదలైన రకాల అబెర్రేషన్లను గమనించవచ్చు. అధ్యాయం యొక్క తరువాతి భాగంలో, వివిధ రకాల అవకతవకలకు వివరణ మరియు వాటిలో కొన్నింటిని తగ్గించే పద్ధతుల గురించి వివరంగా చర్చించబడింది.

రెండు వేర్వేరు మాధ్యమాలను వేరుచేసే సరిహద్దుపై కాంతి పడినప్పుడు, అది ప్రతిబింబించవచ్చు లేదా ప్రసారం చేయబడుతుంది లేదా పాక్షికంగా ప్రతిబింబిస్తుంది మరియు పాక్షికంగా ప్రసారం చేయబడుతుంది.

ప్రతిబింబం మరియు వక్రీభవన నియమాలు క్రింది వాటిలో పేర్కొనబడ్డాయి

Then time of travel from A to B is given by,

$$T = \frac{AO}{c} + \frac{OB}{c}$$

$$T = \frac{S}{V} = \frac{\sqrt{x^2 + y_1^2}}{c} + \frac{\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}}{c}$$

This time of travel must be independent of point of reflection (x)

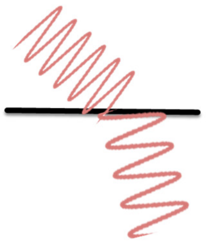
$$ie; \frac{dT}{dx} = 0 \implies \frac{1}{c}\frac{2x}{2\sqrt{x^2 + y_1^2}} + \frac{1}{c}\frac{2(x_2 - x) \times (-1)}{2\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}} = 0$$

$$\implies \frac{x - 0}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} - \frac{x_2 - x}{\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}} = 0 \implies \sin i - \sin r = 0$$

$$\implies \sin i = \sin r \quad or \quad i = r$$

Fermat Principle of least time : Refraction Laws

1. Incident Ray, Refracted ray and Normal to the refracting surface lie in the same plane.
2. The path taken by the light ray is decided by the least time. This is because velocity changes during refraction, frequency has to remain constant to keep the wave connected across the boundary. If frequency varies across the boundary, wave on either side of the boundary will have different oscillation rates and gets disconnected. From the least action principle, since frequency remains constant, the complementary part of frequency or energy being time, leads to the least time path to be the best path.



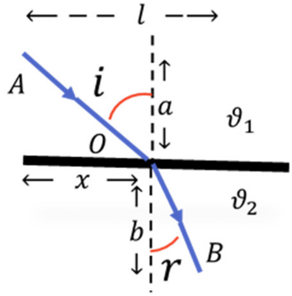


Fig: Refraction

4.1 Introduction

ఫెర్మా ప్రిన్సిపల్ ఆఫ్ లీస్ట్ పాత్: రిఫ్లెక్షన్ లాస్ ఆఫ్ లైట్

1. సంఘటన రే, రిఫ్లెక్టింగ్ కిరణం మరియు రిఫ్లెక్టింగ్ ఉపరితలంపై లంబం ఒకే తలం లో ఉంటాయి.
2. పతన కోణం పరావర్తన కోణం వలె ఉంటుంది.
3. కాంతి కిరణం తీసుకునే మార్గం అతి తక్కువ దూరం ద్వారా నిర్ణయించబడుతుంది. ఎందుకంటే అదే మాధ్యమంలో రిఫ్లెక్టింగ్ సమయంలో వేగం స్థిరంగా ఉంటుంది, చర్య వేరియబుల్‌లో మొమెంటం కోసం పరిపూరకరమైన భాగం స్థానం లేదా దూరం. అందువల్ల తక్కువ దూరం లేదా తక్కువ మార్గం పొడవు పరిస్థితి ఉత్తమ మార్గాన్ని నిర్ణయిస్తుంది.

కాంతి కిరణం AOను పరిగణించగలరు , అది మృదువైన రిఫ్లెక్టింగ్ ఉపరితలంపై పడి, xy ప్లేన్‌లో OB వలె తిరిగి అదే మాధ్యమంలోకి ప్రతిబింబిస్తుంది. చిత్రం యొక్క దిగువ ఎడమ మూలలో మూలాన్ని ఉంచడం ద్వారా, A, O, B యొక్క కోఆర్డినేట్లు వరుసగా $(0, y_1)$, .$(x, 0)$, (x_2, y_2) ఇవ్వబడ్డాయి.. పతన కోణం i మరియు ప్రతిబింబం యొక్క కోణం r వరుసగా ఉండనివ్వండి

అప్పుడు A నుండి B వరకు ప్రయాణ సమయం,

$$T = \frac{AO}{c} + \frac{OB}{c}$$

$$T = \frac{S}{V} = \frac{\sqrt{x^2 + y_1^2}}{c} + \frac{\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}}{c}$$

ఈ ప్రయాణ సమయం తప్పనిసరిగా రిఫ్లెక్టింగ్ పాయింట్ (x) నుండి స్వతంత్రంగా ఉండాలి

$$ie; \frac{dT}{dx} = 0 \implies \frac{1}{c}\frac{2x}{2\sqrt{x^2 + y_1^2}} + \frac{1}{c}\frac{2(x_2 - x) \times (-1)}{2\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}} = 0$$

$$\implies \frac{x - 0}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} - \frac{x_2 - x}{\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}} = 0 \implies \sin i - \sin r = 0$$

$$\implies \sin i \; = \sin r \quad or \quad i = r$$

అతి తక్కువ సమయం యొక్క ఫెర్మా సూత్రం : వక్రీభవన చట్టాలు

1. సంఘటన రే, వక్రీభవన కిరణం మరియు వక్రీభవన ఉపరితలం నుండి లంబం ఒకే తలం లో ఉంటాయి.
2. కాంతి కిరణం తీసుకునే మార్గం అతి తక్కువ సమయం ద్వారా నిర్ణయించబడుతుంది. ఎందుకంటే వక్రీభవనం సమయంలో వేగం మారుతుంది, తరంగాన్ని సరిహద్దు అంతటా కనెక్ట్ చేయడానికి ఫ్రీక్వెన్సీ స్థిరంగా ఉండాలి. సరిహద్దు అంతటా ఫ్రీక్వెన్సీ మారుతూ ఉంటే, సరిహద్దుకు ఇరువైపులా ఉన్న వేవ్ వేర్వేరు డోలన రేట్లు కలిగి ఉంటుంది మరియు డిస్ కనెక్ట్ అవుతుంది. తక్కువ చర్య సూత్రం నుండి, ఫ్రీక్వెన్సీ స్థిరంగా ఉంటుంది కాబట్టి, ఫ్రీక్వెన్సీ లేదా శక్తి యొక్క పరిపూరకరమైన భాగం సమయం, ఉత్తమ మార్గంగా ఉండటానికి తక్కువ సమయ మార్గానికి దారితీస్తుంది.

రెండు మీడియా 1 మరియు 2 లను వేరుచేసే సరిహద్దులో కాంతి కిరణ AO సంఘటనను పరిగణించగలరు మరియు మీడియం 1 మరియు మీడియం 2లో వరుసగా కాంతి వేగాలుϑ_1, ϑ_2 ఉండాలి. OB ఉద్భవించే కిరణంగా పరిగణించగలరు . వరుసగా సంఘటనల కోణం i మరియు వక్రీభవన కోణం r. అప్పుడు

Consider a light ray AO incident on a boundary separating two media 1 and 2. Let ϑ_1 and ϑ_2 be the velocities of light in medium 1 and medium 2 respectivly. Consider OB to be the emergent ray. Let i, r be the angle of incidence and angle of refraction respectively. Then,

Time of travel is given by

$$T = \frac{AO}{c} + \frac{OB}{c}$$

$$T = \frac{S}{V} = \frac{\sqrt{x^2 + a^2}}{\vartheta_1} + \frac{\sqrt{(l-x)^2 + b^2}}{\vartheta_2}$$

This time of travel must be independent of point of reflection (x)

$$ie; \frac{dT}{dx} = 0 \Rightarrow \frac{1}{\vartheta_1}\frac{2x}{2\sqrt{x^2 + a^2}} + \frac{1}{\vartheta_2}\frac{2(l-x)\times(-1)}{2\sqrt{(l-x)^2 + b^2}} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\vartheta_1}\frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} - \frac{1}{\vartheta_2}\frac{l-x}{\sqrt{(l-x)^2 + b^2}} = 0 \Rightarrow \frac{\sin i}{\vartheta_1} - \frac{\sin r}{\vartheta_2} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\sin i}{\vartheta_1} = \frac{\sin r}{\vartheta_2} \quad or \quad \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}$$

This is the famous Snell's law of refraction.

Snell's Law of refraction

Some salient features of Snell's law:

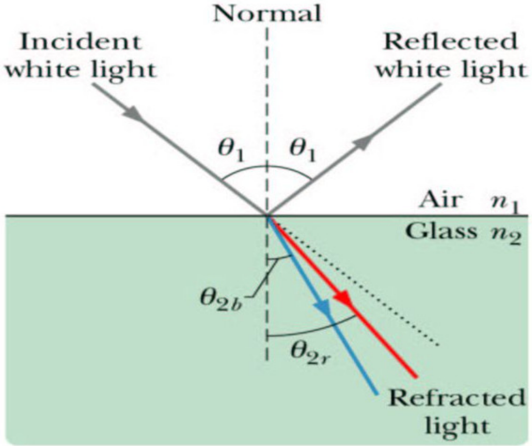


Fig: Snell's law.

- To keep the incident ray and refracted ray connected, the two waves must have same frequency at the boundary. Then,

ప్రయాణ సమయం

$$T = \frac{AO}{c} + \frac{OB}{c}$$

$$T = \frac{S}{V} = \frac{\sqrt{x^2 + a^2}}{\vartheta_1} + \frac{\sqrt{(l-x)^2 + b^2}}{\vartheta_2}$$

ఈ ప్రయాణ సమయం తప్పనిసరిగా రిఫ్లెక్టింగ్ పాయింట్ (x) నుండి స్వతంత్రంగా ఉండాలి

$$ie; \frac{dT}{dx} = 0 \Rightarrow \frac{1}{\vartheta_1}\frac{2x}{2\sqrt{x^2 + a^2}} + \frac{1}{\vartheta_2}\frac{2(l-x) \times (-1)}{2\sqrt{(l-x)^2 + b^2}} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\vartheta_1}\frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} - \frac{1}{\vartheta_2}\frac{l-x}{\sqrt{(l-x)^2 + b^2}} = 0 \Rightarrow \frac{\sin i}{\vartheta_1} - \frac{\sin r}{\vartheta_2} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\sin i}{\vartheta_1} = \frac{\sin r}{\vartheta_2} \quad or \quad \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}$$

ఇది ప్రసిద్ధ స్నెల్ యొక్క వక్రీభవన నియమం

స్నెల్ యొక్క వక్రీభవన నియమం

స్నెల్ నియమం యొక్క కొన్ని ముఖ్యమైన లక్షణాలు:

- ▶ పతన కిరణాన్ని మరియు వక్రీభవన కిరణాన్ని కనెక్ట్ చేయడానికి, రెండు తరంగాలు సరిహద్దు వద్ద ఒకే పౌనఃపున్యాన్ని కలిగి ఉండాలి. అప్పుడు,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{\nu\lambda_1}{\nu\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \mu_{21}$$

- ❖ కాంతి కిరణం దాని ఫ్రీక్వెన్సీ ద్వారా వర్గీకరించబడుతుంది. దాని తరంగదైర్ఘ్యం ద్వారా కాదు. λ సరిహద్దులో మార్పులు చెందుతుంది
- ❖ ఉదా: సోడియం కాంతి తరంగదైర్ఘ్యం గాలిలో 5893Å ఉంటుంది. గ్లాస్‌లో దాని తరంగదైర్ఘ్యం ఎంత?$(n = 1.5\text{Å})$

$$\lambda_2 = \lambda_1/\mu_{21} = 5893/1.5 = 3928.67\text{Å}$$

- ❖ వేర్వేరు తరంగదైర్ఘ్యం కిరణాలు వేర్వేరు వేగాలతో ప్రయాణిస్తాయి మరియు అందువల్ల విభిన్న వక్రీభవన గుణకం లు ఉంటాయి.
- ❖ $\nu \downarrow \ \lambda \uparrow \ \ \vartheta \uparrow \ \ r \uparrow \ \ \mu \downarrow \ \ \delta \downarrow$(ఎరుపు)
- ❖ $\nu \uparrow \ \lambda \downarrow \ \ \vartheta \downarrow \ \ r \downarrow \ \ \mu \uparrow \ \ \delta \uparrow$(నీలం)
- ❖ అప్పుడు కాంతి యొక్క ఏ రంగు తో, పదార్థం యొక్క వక్రీభవన గుణకం నిర్వచించబడింది? ఇది నీలం (4000Å) మరియు ఎరుపు (7000Å) తరంగదైర్ఘ్యాల సగటు అని అనుకోవచ్చు, అనగా; ఆకుపచ్చ (5500Å). కానీ సోడియం పసుపు 5893Å తో వక్రీభవన గుణకం నిర్వచించబడింది, ఆ సమయంలో అందుబాటులో ఉన్న ఏకైక ఏకవర్ణ కాంతి మూలం అది కావచ్చు.
- ❖ వక్రీభవన గుణకం అనేది కాంతి కిరణంలో ఉత్పత్తి చేయబడిన విచలన δ గుణకం .
- ❖ ఫలితం న్యూటన్ యొక్క కార్పస్కులర్ సిద్ధాంత అంచనాలకు విరుద్ధంగా ఉంది. అందువల్ల, వాస్తవానికి, అధిక శక్తి కిరణాలు మరింత విచలనం చెందుతాయి.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{\nu\lambda_1}{\nu\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \mu_{21}$$

- A light ray is characterized by it's frequency. Not by it's wavelength. λ changes across the boundary.
- Eg: The wavelength of Sodium light is 5893Å in air. What is it's wavelength in Glass (n = 1.5Å)?

$$\lambda_2 = \lambda_1/\mu_{21} = 5893/1.5 = 3928.67\text{Å}$$

- Different wavelength rays travel with different velocities and hence will have different refractive indices.
- $\nu\downarrow \; \lambda\uparrow \quad \vartheta\uparrow \quad r\uparrow \quad \mu\downarrow \quad \delta\downarrow$ (Red)
- $\nu\uparrow \; \lambda\downarrow \quad \vartheta\downarrow \quad r\downarrow \quad \mu\uparrow \quad \delta\uparrow$ (Blue)
- Then for what color of light, the refractive index of a material is defined? One may think that it is the average of Blue 4000Å and Red (7000Å) wavelenghs i.e.; Green (5500Å). But refractive index is defined for Sodium yellow 5893Å as that could be the only monochromatic light source available at that time.
- Refractive index is an indicator of the deviation δ produced in the light ray.
- The result is in contradiction to Newton's Corpuscular theory predictions. Hence, in reality, the higher energy rays deviate more.
- To understand this, we must get into little more details of electromagnetic theory of refraction given by Feynmann.

Feynman theory of refraction

- The electric field vector of light rays interact with the charges in the atom. That causes a change in velocity or refractive index.
- The electromagnetic wave causes oscillations in the charges of the material.
- Let the electric field by $E = E_0 \exp i\omega(t - z/c)$
- Consider a material of thickness Δz with RI = n is placed in the path of the light rays. Then the electric field changes as

$$E_{observed} = E_0 \,\mathbf{exp}\, i\omega(t - (z/c - \Delta z/c + \Delta z/\vartheta))$$
$$= E_0 \,\mathbf{exp}\, i\omega(t - (z/c - \Delta z/c + n\Delta z/c))$$

- The effect of material can be separated and written as

$$E_{observed} = \exp -i\omega(n-1)\Delta z/c \;\; E_0 \exp i\omega(t - z/c)$$

4.1 Introduction

- దీన్ని అర్థం చేసుకోవడానికి, ఫేన్మాన్ అందించిన వక్రీభవన విద్యుదయస్కాంత సిద్ధాంతం గురించి మనం కొంచెం ఎక్కువ వివరాలను పొందాలి.

ఫేన్మాన్ వక్రీభవన సిద్ధాంతం

- కాంతి కిరణాల యొక్క విద్యుత్ క్షేత్ర వెక్టర్ అణువులోని ఛార్జీలతో ఇంటరాక్షన్ చెందుతుంది. ఇది వేగం లేదా వక్రీభవన గుణకం లో మార్పుకు కారణమవుతుంది.
- విద్యుదయస్కాంత తరంగం పదార్థం యొక్క ఛార్జీలలో డోలనాలను కలిగిస్తుంది.
- విద్యుత్ క్షేత్రం $E = E_0 \exp i\omega(t - z/c)$
- కాంతి కిరణాల మార్గంలో ఉంచబడిన Δz మందంతో కూడిన RI $= n$ పదార్థాన్ని పరిగణించగలరు . అప్పుడు విద్యుత్ క్షేత్రం ఇలా మారుతుంది

$$E_{observed} = E_0 \, \mathbf{exp} \, i\omega(t - (z/c - \Delta z/c + \Delta z/\vartheta))$$
$$= E_0 \, \mathbf{exp} \, i\omega(t - (z/c - \Delta z/c + n\Delta z/c))$$

- పదార్థం యొక్క ప్రభావాన్ని వేరు చేసి ఇలా వ్రాయవచ్చు

$$E_{observed} = \exp -i\omega(n-1)\Delta z/c \;\; E_0 \exp i\omega(t - z/c)$$

- Δz చాలా చిన్నది కాబట్టి, వ్రాయవచ్చు$\exp -i\omega(n-1)\Delta z/c = 1 - i\omega(n-1)\Delta z/c$

$\therefore E_{observed} = E_0 \exp i\omega(t - z/c) - (i\omega(n-1)\Delta z/c) E_0 \exp i\omega(t - z/c)$

- ప్రేరేపిత క్షేత్రాన్ని ఇలా లెక్కించవచ్చు

$E_{induced} = -\frac{N\Delta zq}{2\epsilon_0 c} Velocity\ of\ charges|_{at\ t-z/c}$

ఇక్కడ N ఛార్జ్ సాంద్రత ఉంది.

- కాంతి యొక్క విద్యుత్ క్షేత్రం పదార్థంలో సాధారణ హార్మోనిక్ డోలనాలను కలిగిస్తుంది.

$$m\left(\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x\right) = F = qE_0 \exp i\omega t$$

- ఈ సమీకరణం యొక్క పరిష్కారం$x = x_0 \exp i\omega t$
- పై సమీకరణంలో దీనిని తిరిగి భర్తీ చేస్తే, మనకు లభిస్తుంది

$$x = \frac{qE_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \exp i\omega t \quad \Rightarrow \quad Velocity\ of\ Charges\,|_{at\ t-\frac{z}{c}}$$
$$= [i\omega \frac{qE_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}] \exp(i\omega\left(t - \frac{z}{c}\right))]$$

- ప్రేరేపిత ఫీల్డ్ ఇప్పుడు అవుతుంది:

$$E_{induced} = -\frac{N\Delta zq}{2\epsilon_0 c}[i\omega \frac{qE_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \exp(i\omega\left(t - \frac{z}{c}\right))]$$

- పదార్థంలోని ఛార్జీల డోలనాల సహజ పౌనఃపున్యం ఇక్కడ ఉంది.ω_0

- తో పోల్చి చూస్తే, మనకు లభిస్తుంది$E_{induced} = -(i\omega(n-1)\Delta z/c)E_0 \exp i\omega(t - z/c)$

$$n = 1 + \frac{Nq^2}{2\epsilon_0 m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

ఈ ఫంక్షన్ యొక్క ప్రవర్తనను క్రింద చూపిన విధంగా కొన్ని సాధారణ విలువల కోసం అధ్యయనం చేయవచ్చు.

- Since Δz is very small, one can write $\exp -i\omega(n-1)\Delta z/c = 1 - i\omega(n-1)\Delta z/c$

$$\therefore E_{observed} = E_0 \exp i\omega(t - z/c) - (i\omega(n-1)\Delta z/c)E_0 \exp i\omega(t - z/c)$$

- Induced field can be calculated as
$E_{induced} = -\frac{N\Delta zq}{2\epsilon_0 c} Velocity\ of\ charges|_{at\ t-z/c}$
Here N is charge density.
- The electric field of light causes simple harmonic oscillations in the material.

$$m\left(\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x\right) = F = qE_0 \exp i\omega t$$

- The solution of this equation is $x = x_0 \exp i\omega t$
- Substituting this back into the above equation, we get

$$x = \frac{qE_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \exp i\omega t \quad \Rightarrow \quad Velocity\ of\ Charges\ |_{at\ t-\frac{z}{c}}$$

$$= [i\omega \frac{qE_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}] \exp(i\omega\left(t - \frac{z}{c}\right))]$$

- The induced field now becomes:

$$E_{induced} = -\frac{N\Delta zq}{2\epsilon_0 c} [i\omega \frac{qE_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \exp(i\omega\left(t - \frac{z}{c}\right))]$$

- Here ω_0 is the natural frequency of oscillations of the charges in the material.

- Comparing with $E_{induced} = -(i\omega(n-1)\Delta z/c)E_0 \exp i\omega(t - z/c)$, we get

$$n = 1 + \frac{Nq^2}{2\epsilon_0 m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

The behaviour of this function can be studied for some general values as shown below.

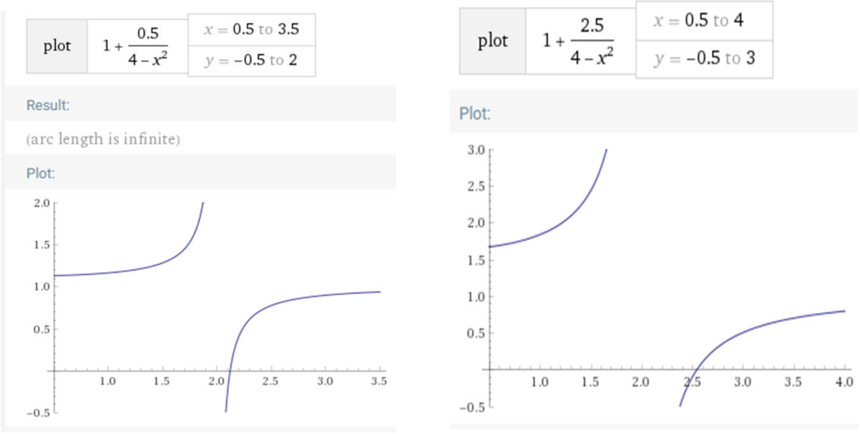
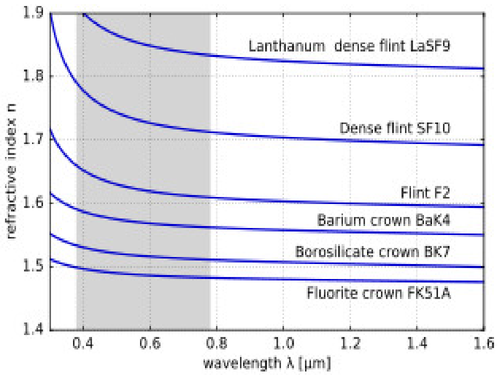
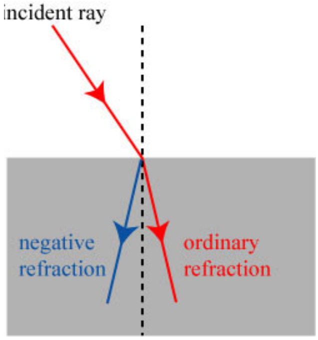


Fig: Plot of refractive index vs. frequency





Some salient observations of Feynman equation for refractive index:

- For most transparent materials like air, hydrogen gas etc., the natural frequency is in UV range.
- i.e; $\omega_0 \gg \omega$, so refractive index is constant for all visible light frequencies or all colours travel with same velocity.
- Crown glass and flint glass also exhibit constant RI for all visible light frequencies, the reason they are used for lens preparation.
- If Graphite is shone with x-Rays, then $\omega \gg \omega_0$ Then also RI is constant. That is why Carbon is transparent to X-rays.
- For free electron gas, $\omega_0 = 0$ then $n < 1$. ie, light travels faster than c. This is actually phase velocity.
- If ω_0 is comparable to ω, ie; $\omega_0 \gtrless \omega$ then Refractive Index increases with rise in frequency of light.

- When $\omega \simeq \omega_0$ then material exhibits negative refractive index.

Fresnel theory of reflection and refraction

When light is incident on an interface separating two different media, a part will be transmitted and a part will be reflected. In addition to reflection and transmission, polarization of light beam also takes place. To understand that, one needs to consider the electromagnetic wave model of light.

There are two types of polarizations namely S-Polarization and P-Polarization. The German word S stands for Senkrecht that means perpendicular and is associated with Electric field vector perpendicular to the plane of light ray motion. This is also called TE-Mode (Transverse Electric field mode). In German, P stands for Parallel which is associated with electric field vector parallel to the plane of the light ray motion. This is also called TM-Mode (Transverse Magnetic field mode).

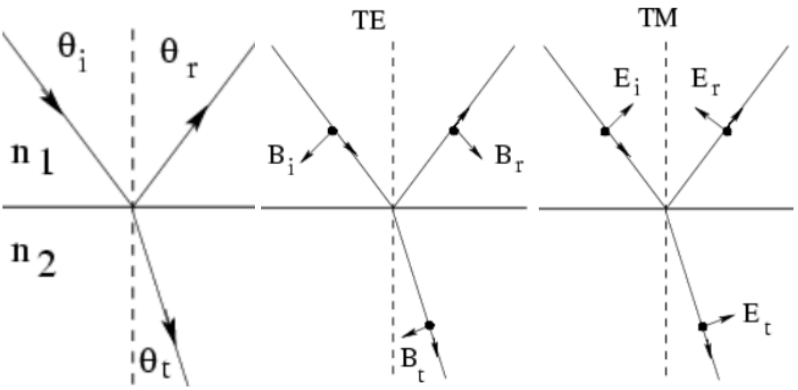


Fig: Fresnel theory of reflection and refraction.

Consider a light ray which is incident at an angle θ_i on a boundary separating two media of refractive indices n_1 and n_2 respectively. Let θ_r be the angle of reflection and θ_t be the angle of transmission or angle of refraction. Then in TE-Mode, magnetic field vector will be in the light ray plane and in TM-Mode, electric field vector will be in the light ray plane as shown above.

Boundary conditions are to be applied for E and B across the boundary. They are as given below.

1. Perpendicular component of B is continuous across the boundary.

- ❖ గాలి, హైడ్రోజన్ వాయువు మొదలైన చాలా పారదర్శక పదార్థాల కోసం, సహజ ఫ్రీక్వెన్సీ UV పరిధిలో ఉంటుంది.
- ❖ అనగా; $\omega_0 \gg \omega$, కాబట్టి అన్ని కనిపించే కాంతి పౌనఃపున్యాలకు వక్రీభవన గుణకం స్థిరంగా ఉంటుంది లేదా అన్ని రంగులు ఒకే వేగంతో ప్రయాణిస్తాయి.
- ❖ క్రౌన్ గ్లాస్ మరియు ఫ్లింట్ గ్లాస్ కూడా అన్ని కనిపించే కాంతి పౌనఃపున్యాల కోసం స్థిరమైన RIని ప్రదర్శిస్తాయి, అందుకే అవి లెన్స్ తయారీకి ఉపయోగించబడతాయి.
- ❖ గ్రాఫైట్ x-కిరణాలతో ప్రకాశిస్తే, అప్పుడు RI కూడా స్థిరంగా ఉంటుంది. అందుకే కార్బన్ ఎక్స్-కిరణాలకు పారదర్శకంగా ఉంటుంది.$\omega \gg \omega_0$
- ❖ ఉచిత ఎలక్ట్రాన్ వాయువు కోసం $\omega_0 = 0$, అప్పుడు < 1 . అంటే కాంతి c కంటే వేగంగా ప్రయాణిస్తుంది. ఇది నిజానికి దశ వేగం.
- ❖ ω_0 తో ω పోల్చదగినది అయితే, అనగా; $\omega_0 \gtrsim \omega$ కాంతి యొక్క ఫ్రీక్వెన్సీ పెరుగుదలతో వక్రీభవన గుణకం పెరుగుతుంది.
- ❖ అప్పుడు పదార్థం ప్రతికూల వక్రీభవన గుణకం ను ప్రదర్శిస్తుంది.$\omega \simeq \omega_0$

రిఫ్లెక్షన్ మరియు వక్రీభవనం యొక్క ఫ్రెనెల్ సిద్ధాంతం

రెండు వేర్వేరు మాధ్యమాలను వేరుచేసే ఇంటర్‌ఫేస్‌పై కాంతి పతనం జరిగినప్పుడు, ఒక భాగం ప్రసారం చేయబడుతుంది మరియు కొంత భాగం ప్రతిబింబిస్తుంది. రిఫ్లెక్షన్ మరియు ప్రసారంతో పాటు, కాంతి పుంజం యొక్క ధ్రువణత కూడా జరుగుతుంది. దానిని అర్థం చేసుకోవడానికి, కాంతి యొక్క విద్యుదయస్కాంత తరంగ నమూనాను పరిగణించాలి.

ఎస్-పోలరైజేషన్ మరియు పి-పోలరైజేషన్ అనే రెండు రకాల ధ్రువణాలు ఉన్నాయి. జర్మన్ పదం S అంటే సెన్క్రెచ్ట్ అంటే లంబంగా మరియు కాంతి కిరణ కదలిక సమతలానికి లంబంగా ఉన్న ఎలక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ వెక్టర్‌తో సంబంధం కలిగి ఉంటుంది. దీనిని TE- మోడ్ (ట్రాన్స్‌వర్స్ ఎలక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ మోడ్) అని కూడా అంటారు. జర్మన్‌లో, P అంటే సమాంతరంగా ఉంటుంది, ఇది కాంతి కిరణ చలనం యొక్క సమతలానికి సమాంతరంగా విద్యుత్ క్షేత్ర వెక్టర్‌తో అనుబంధించబడుతుంది. దీనిని TM-మోడ్ (ట్రాన్స్‌వర్స్ మాగ్నెటిక్ ఫీల్డ్ మోడ్) అని కూడా అంటారు.

వక్రీభవన గుణకం n_1, n_2 వరుసగా కలిగిన రెండు మాధ్యమాలను వేరుచేసే సరిహద్దులో ఒక కోణంలో θ_i పతనం చెందే కాంతి కిరణాన్ని పరిగణించగలరు . పరావర్తన కోణం .θ_r గా ఉండనివ్వండి మరియు θ_t ప్రసార కోణం లేదా వక్రీభవన కోణం. అప్పుడు TE-మోడ్‌లో, మాగ్నెటిక్ ఫీల్డ్ వెక్టర్ కాంతి కిరణాల ప్లేన్ లో ఉంటుంది మరియు TM-మోడ్‌లో, ఎలక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ వెక్టర్‌పైన చూపిన విధంగా లైట్ రే ప్లేన్‌లో ఉంటుంది సరిహద్దులో E మరియు B కోసం సరిహద్దు షరతులు వర్తింపజేయబడతాయి. అవి క్రింద ఇవ్వబడినవి.

1. B యొక్క లంబ భాగం సరిహద్దు అంతటా నిరంతరంగా ఉంటుంది.
2. E యొక్క సమాంతర భాగం సరిహద్దు అంతటా నిరంతరంగా ఉంటుంది.

ఎలక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ వెక్టర్ పరంగా వివరణ సౌకర్యవంతంగా ఉంటుంది కాబట్టి అయస్కాంత క్షేత్ర నిబంధనలను తొలగించడానికి ఎలక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ మరియు మాగ్నెటిక్ ఫీల్డ్ వెక్టర్స్ మధ్య సంబంధాన్ని ఉపయోగించాల్సి ఉంటుంది. కాబట్టి ఒకరు ఉపయోగించవచ్చు

3. Parallel component of E is continuous across the boundary.

Also one may need to use the relation between electric field and magnetic field vectors to eliminate magnetic field terms as description in terms of electric field vector is convenient. Thus one may use

$$\frac{E}{B} = c \implies B = \frac{n}{c_0}E \quad --- (1)$$

Here n is the refractive index of the medium 1. c_0 is the velocity of light in vacuum. In the medium 2 with refractive index n', the equation becomes,

$$B = \frac{n'}{c_0}E \quad --- (2)$$

Activity

One can also substitute $E/B = c = \omega/k$ and ω/k' for the second medium and get similar results in terms of wave vecor k. Arrive at that result.

TE - Mode:

In the TE mode, Electric field is perpendicular to the plane of propagation of light and magnetic field is in the field of propagation. The application of boundary conditions yield,

$$E_i + E_r = E_t \quad --- (3)$$

$$B_i \cos\theta_i - B_r \cos\theta_r = B_t \cos\theta_t \quad --- (4)$$

Replacing B with E using Eq. (1), (2); Eq(4) becomes

$$n(E_i \cos\theta_i - E_r \cos\theta_r) = n' E_t \cos\theta_t$$

Since angle of reflection is same as angle of incidence,

$$n \cos\theta_i \,(E_i - E_r) = n' E_t \cos\theta_t \quad --- (5)$$

Substituting Eq. (3) in the above gives,

$$n \cos\theta_i \,(E_i - E_r) = n'(E_i + E_r)\cos\theta_t$$

Upon rearrangement,

$$E_i(n\cos\theta_i - n'\cos\theta_t) = E_r(n\cos\theta_i + n'\cos\theta_r)$$

From this the reflection coefficient is given by

$$r_s = \frac{E_r}{E_i} = \frac{n\cos\theta_i - n'\cos\theta_t}{n\cos\theta_i + n'\cos\theta_r} \quad --- (6)$$

To calculate transmission coefficient, one needs to eliminate E_r from Eq. (5) using Eq. (3)

$$n\cos\theta_i\left(E_i - (E_t - E_i)\right) = n' E_t \cos\theta_t$$

Upon rearranging,

$$n\cos\theta_i \; 2E_i = E_t(n'\cos\theta_t + n\cos\theta_i)$$

The transmission coefficient is given by

$$\frac{E}{B} = c \quad \Rightarrow B = \frac{n}{c_0} E \quad --- (1)$$

మాధ్యమం 1 యొక్క వక్రీభవన గుణకం n ఇక్కడ ఉంది. శూన్యంలో కాంతి వేగం c_0. వక్రీభవన గుణకం n' తో మాధ్యమం 2లో, సమీకరణం అవుతుంది,

$$B = \frac{n'}{c_0} E \quad --- (2)$$

TE – మోడ్:

TE మోడ్‌లో, ఎలెక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ కాంతి మరియు అయస్కాంత క్షేత్రం ప్రసారం యొక్క సమతలానికి లంబంగా ఉంటుంది. సరిహద్దు షరతులను వర్తింపజేయడం,

$$E_i + E_r = E_t \quad --- (3)$$

$$B_i \cos\theta_i - B_r \cos\theta_r = B_t \cos\theta_t \quad --- (4)$$

Eq . (1), (2); ని ఉపయోగించి భర్తీ చేస్తోంది Eq(4) అవుతుందిBE

$$n(E_i \cos\theta_i - E_r \cos\theta_r) = n' E_t \cos\theta_t$$

రిఫ్లెక్షన్ యొక్క కోణం పతన కోణంతో సమానం కాబట్టి,

$$n \cos\theta_i \, (E_i - E_r) = n' E_t \cos\theta_t \quad --- (5)$$

Eqని ప్రత్యామ్నాయం చేస్తోంది. (3) పైన ఇచ్చిన వాటిలో,

$$n \cos\theta_i \, (E_i - E_r) = n'(E_i + E_r) \cos\theta_t$$

పునర్వ్యవస్థీకరణ తరువాత,

$$E_i(n \cos\theta_i - n' \cos\theta_t) = E_r(n \cos\theta_i + n' \cos\theta_r)$$

దీని నుండి పరావర్తన గుణకం ఇవ్వబడుతుంది

$$r_s = \frac{E_r}{E_i} = \frac{n \cos\theta_i - n' \cos\theta_t}{n \cos\theta_i + n' \cos\theta_r} \quad --- (6)$$

ట్రాన్స్మిషన్ కోఎఫిషియంట్ను లెక్కించడానికి, Eq నుండి E_r తొలగించాలి. (5) Eq ఉపయోగించి. (3)

$$n \cos\theta_i \left(E_i - (E_t - E_i)\right) = n' E_t \cos\theta_t$$

పునర్వ్యవస్థీకరణపై,

$$n \cos\theta_i \;\; 2E_i = E_t(n' \cos\theta_t + n \cos\theta_i)$$

ప్రసార గుణకం

$$t_s = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2n \cos\theta_i}{n \cos\theta_i + n' \cos\theta_t} \quad --- (7)$$

TM మోడ్:

ఈ మోడ్‌లో అయస్కాంత క్షేత్రం కాంతి ప్రసారం యొక్క సమతలానికి లంబంగా ఉంటుంది మరియు విద్యుత్ క్షేత్రం ప్రసారం యొక్క తలం లో ఉంటుంది. సరిహద్దు షరతులను వర్తింపజేయడం,

$$E_i \cos\theta_i + E_r \cos\theta_i = E_t \cos\theta_t \quad --- (8)$$

$$B_i - B_r = B_t \quad --- (9)$$

Eqని ఉపయోగించడం. (1) మరియు Eq. (2), Eqలో B ఫీల్డ్‌ని E ఫీల్డ్‌గా మార్చవచ్చు. (9) ఈ విధంగా,

$$n(E_i - E_r) = n' E_t \quad --- (10)$$

Eq నుండి E_t తొలగించడం. (8) మరియు Eq. (10), ఇస్తుంది

$$(E_i + E_r) \cos\theta_i = \frac{n}{n'} (E_i - E_r) \cos\theta_t$$

పునర్వ్యవస్థీకరణ తరువాత,

$$E_i(n \cos\theta_t - n' \cos\theta_i) = E_r(n \cos\theta_t + n' \cos\theta_i)$$

$$t_s = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2n\cos\theta_i}{n\cos\theta_i + n'\cos\theta_t} \quad --- (7)$$

TM Mode:

In this mode magnetic field is perpendicular to the plane of light propagation and electric field is in the plane of propagation. Applying the boundary conditions, one obtains

$$E_i\cos\theta_i + E_r\cos\theta_i = E_t\cos\theta_t \quad --- (8)$$

$$B_i - B_r = B_t \quad --- (9)$$

Using Eq. (1) and Eq. (2), one may convert B field into E field in Eq. (9). Thus,

$$n(E_i - E_r) = n'E_t \quad --- (10)$$

Eliminating E_t from Eq. (8) and Eq. (10), gives

$$(E_i + E_r)\cos\theta_i = \frac{n}{n'}(E_i - E_r)\cos\theta_t$$

Upon rearrangement,

$$E_i(n\cos\theta_t - n'\cos\theta_i) = E_r(n\cos\theta_t + n'\cos\theta_i)$$

From this the reflection coefficient is

$$r_p = \frac{E_r}{E_i} = \frac{n\cos\theta_t - n'\cos\theta_i}{n\cos\theta_t + n'\cos\theta_i} \quad --- (11)$$

Eliminating E_r from Eq. (8) and Eq. (10) yields,

$$E_i\cos\theta_i + \left(\frac{nE_i - n'E_t}{n}\right)\cos\theta_i = E_t\cos\theta_t$$

Upon rearranging,

$$2nE_i\cos\theta_i - n'E_t\cos\theta_i = nE_t\cos\theta_t$$

Thus the transmission coefficient for P-polarized wave is given by

$$t_p = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2n\cos\theta_i}{n\cos\theta_t + n'\cos\theta_i} \quad --- (12)$$

When $\theta_i = 90°$, transmission coefficient becomes zero.

When $\tan\theta_i = n'/n$, $r_p = 0$ .This condition is called Brewster law.

దీని నుండి పరావర్తన గుణకం

$$r_p = \frac{E_r}{E_i} = \frac{n\cos\theta_t - n'\cos\theta_i}{n\cos\theta_t + n'\cos\theta_i} \quad --- (11)$$

Eq నుండి E_r తొలగించడం. (8) మరియు Eq. (10) దిగుబడి,

$$E_i\cos\theta_i + \left(\frac{nE_i - n'E_t}{n}\right)\cos\theta_i = E_t\cos\theta_t$$

పునర్వ్యవస్థీకరణపై,

$$2nE_i\cos\theta_i - n'E_t\cos\theta_i = nE_t\cos\theta_t$$

అందువలన P-పోలరైజ్డ్ వేవ్ కోసం ప్రసార గుణకం ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$t_p = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2n\cos\theta_i}{n\cos\theta_t + n'\cos\theta_i} \quad --- (12)$$

ఎప్పుడు , ప్రసార గుణకం సున్నా అవుతుంది.$\theta_i = 90°$

ఎప్పుడు, .ఈ పరిస్థితిని బ్రూస్టర్ నియమం అంటారు.$\tan\theta_i = n'/nr_p = 0$

రెండు మాధ్యమాలను వేరుచేసే ఏదైనా ఇంటర్ఫేస్‌లో లంబ పతనం జరిగినప్పుడు, దాదాపు అన్ని సందర్భాల్లో ఒక భాగం ప్రసారం చేయబడుతుంది మరియు ఒక భాగం ప్రతిబింబిస్తుంది. అరుదైన మాధ్యమం నుండి తేలికపాటి సంఘటనలు సంభవించినప్పుడు ఒక ప్రత్యేక సందర్భం తలెత్తుతుంది. ఆ సందర్భంలో, కాంతి వక్రీభవనం తర్వాత లంబం నుండి దూరంగా వంగి ఉంటుంది. అనగా; వక్రీభవన కోణం పతన కోణం కంటే పెద్దది. అందువల్ల పతన కోణం పెరిగేకొద్దీ, వక్రీభవన కోణం ఆ తీవ్రత వద్దకు వచ్చే సంఘటన కంటే ముందుగానే 90° చేరుకుంటుంది. ఇది వక్రీభవన కోణం కేవలం సమానంగా మారే పతన క్లిష్టమైన కోణం అని పిలుస్తారు. పతన క్లిష్టమైన కోణం 90° దాటి, వక్రీభవన కిరణం అదృశ్యమవుతుంది మరియు రిఫ్లెక్టింగ్ కిరణం మాత్రమే ఉంటుంది. ఈ పరిస్థితిని టోటల్ ఇంటర్నల్ రిఫ్లెక్షన్ (TIR) అంటారు.

కాంతి అరుదైన మాధ్యమంలో ప్రతిబింబించినప్పుడు, దశ మార్పు జరగదు. కానీ ఈ సందర్భంలో ఖచ్చితమైన రిఫ్లెక్షన్ జరగనందున, కిరణం పరావర్తన బిందువు వద్ద చిన్న దశ మార్పును కలిగి ఉంటుంది. ఎందుకంటే సరిహద్దు వద్ద రిఫ్లెక్టింగ్ సమయంలో కాంతి తరంగం యొక్క చిన్న భాగం అరుదైన మాధ్యమంలోకి ప్రవేశిస్తుంది.

ఇంకా, అరుదైన మాధ్యమం యొక్క మందం చాలా తక్కువగా ఉన్నప్పుడు ఒక ప్రత్యేక సందర్భం ఉంది. అటువంటి సందర్భంలో, సొరంగం ఏర్పడుతుంది మరియు కాంతి కిరణం మొత్తం అంతర్గత ప్రతిబింబానికి బదులుగా అరుదైన మాధ్యమం నుండి బయటపడుతుంది. ఈ దృగ్విషయాన్ని ఫ్రస్ట్రేటెడ్ టోటల్ ఇంటర్నల్ రిఫ్లెక్షన్ అంటారు. అంటే అసలు మొత్తం అంతర్గత రిఫ్లెక్టింగ్ కిరణం (చుక్కల రేఖ) విసుగు చెందుతుంది / భంగం చెందుతుంది మరియు పదార్థం ద్వారా / సొరంగాలను ప్రసారం చేస్తుంది

ఈ ఉపోద్ఘాతంతో, ఇప్పుడు అధ్యాయం యొక్క వివరణాత్మక అంశాలలోకి ప్రవేశిస్తారు

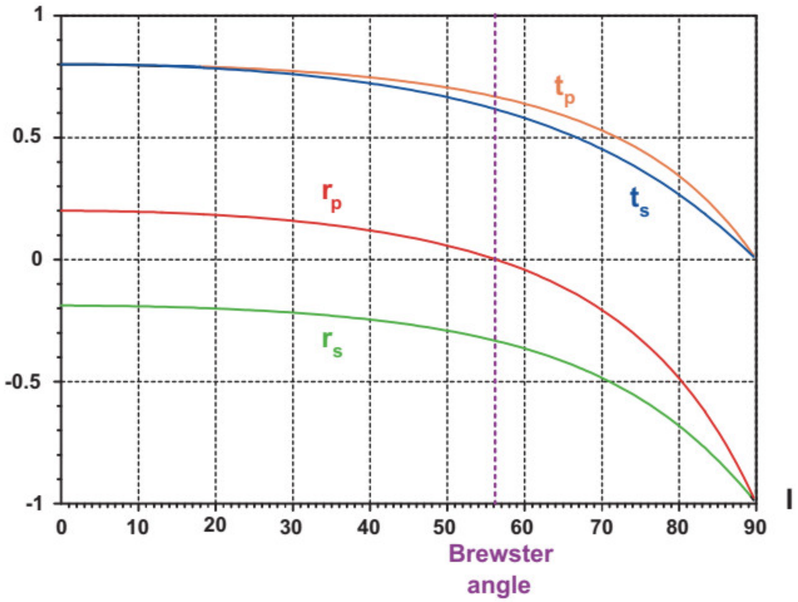


Fig: Reflection and transmission coefficients Vs. Angle of incidence

Activity

Substitute the Brewster condition and show that p-type reflectance is zero.

When light incidents on any interface seperating two media, a part will be transmitted and a part will be reflected, in almost all cases. A special case arises when light incidents from the rarer medium. In that case, light bends away from the normal after refraction. i.e.; angle of refraction is larger than angle of incidence. Thus as the angle of incidence increases, angle of refraction reaches 90° earlier than the angle of incidence arrives at that extreme. That is called the critical angle of incidence for which the angle of refraction just becomes equal to 90°. Beyond the critical angle of incidence, the refracted ray disappears and only reflected ray exists. This condition is called Total Internal Reflection (TIR).

When light reflects on a rarer medium, no phase change occurs. But in this case since no perfect reflection occurs, the ray will have a small phase change at the reflection point. This is because a small portion of light wave enters the rarer medium during the reflection at the boundary.

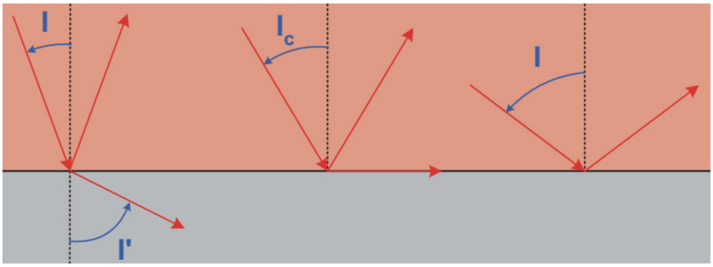


Fig: Principle of optical fiber.

Further, there exists a special case when the thickness of the rarer medium is negligibly small. In such case, tunnelling occurs and light ray escapes out of rarer medium, instead of undergoing total internal reflection. This phenomenon is called frustrated Total Internal Reflection. That means the actual total internal reflected ray (dotted line) gets frustrated / disturbed and transmits / tunnels through the material.

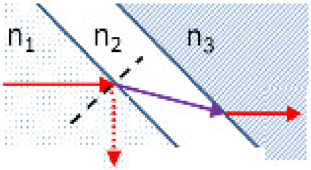


Fig: Frustrated Total internal reflection ($n_2<n_1,n_3$).

With this introduction, one may now dive into the detailed topics of the chapter.

4.2 Monochromatic aberrations

Monochromatic aberrations occur due to the position of the object near the lens/mirror and due to the shape and size of the lens/mirror system. This aberration is completely independent of color/frequency/wavelength of the light source used.

There are 5 types of monochromatic aberrations. They are

1. Spherical aberration 2. Astigmatism 3. Coma
4. Field curvature 5. Image distortion.

Out of these, first three will blur the image and next two will distort its shape.

Some times defocus, piston and tilt are also considered as monochromatic aberrations. But they may be eliminated just by adjusting the position of the lens. Hence may not be considered as mainstream monochromatic aberrations.

4.3 Spherical aberration

The inability of a lens or mirror to focus the paraxial and marginal rays from a point monochromatic source to a single point is called spherical aberration.

Consider the angle of refraction for a given angle of incidence in degrees for a refracting surface of refractive index 1.5

i	r	$\frac{r}{i}$ %
10	6.64778	66.48
15	9.93588	66.24
20	13.1801	65.90
25	16.3644	65.46
30	19.4712	64.90
35	22.4814	64.23
40	25.374	63.43
45	28.1255	62.50
50	30.7102	61.42
55	33.1	60.18
60	35.2644	58.77
65	37.1717	57.19
70	38.7896	55.41
75	40.087	53.45
80	41.0364	51.30
85	41.6156	48.96

Thus for larger values of angle of incidence, in order to keep the ratio $\sin i/\sin r = \mu$ fixed, r value reduces drastically. Thus when light incidents on a plane refracting surface, the rays with smaller angle of incidence focus first and the rays with larger angle of incidence focus at longer distance, i.e.; marginal rays have longer focal length than paraxial rays. This spread of focal point along the principal axis of the system is called longitudinal spherical aberration. By sign convention, paraxial rays being lesser in focal length, it is considered as negative deviation.

4.2 ఏకవర్ణ అబెర్రేషన్లు

లెన్స్/అద్దం దగ్గర వస్తువు యొక్క స్థానం మరియు లెన్స్/అద్దం వ్యవస్థ యొక్క ఆకారం మరియు పరిమాణం కారణంగా ఏకవర్ణ అబెర్రేషన్లు సంభవిస్తాయి. ఉపయోగించిన కాంతి మూలం యొక్క రంగు/ఫ్రీక్వెన్సీ/తరంగదైర్ఘ్యంతో ఈ అబెర్రేషన్ పూర్తిగా స్వతంత్రంగా ఉంటుంది.

5 రకాల ఏకవర్ణ అబెర్రేషన్లు ఉన్నాయి. అవి

1. గోళాకార అబెర్రేషన్ 2. ఆస్టిగ్మాటిజం 3. కోమా 4. ఫీల్డ్ వక్రత 5. చిత్రం వక్రీకరణ.

వీటిలో, మొదటి మూడు చిత్రాన్ని అస్పష్టం చేస్తాయి మరియు తదుపరి రెండు దాని ఆకారాన్ని వక్రీకరిస్తాయి.

కొన్ని సార్లు డిఫోకస్, పిస్టన్ మరియు టిల్ట్ కూడా మోనోక్రోమటిక్ అబెర్రేషన్‌లుగా పరిగణించబడతాయి. కానీ అవి కేవలం లెన్స్ స్థానాన్ని సర్దుబాటు చేయడం ద్వారా తొలగించబడవచ్చు. అందువల్ల ప్రధాన స్రవంతి ఏకవర్ణ అబెర్రేషన్లుగా పరిగణించబడకపోవచ్చు.

4.3 గోళాకార అబెర్రేషన్

ఒక బిందువు ఏకవర్ణ మూలం నుండి ఒక బిందువు వరకు పారాక్సియల్ మరియు మార్జినల్ కిరణాలను కేంద్రీకరించడానికి లెన్స్ లేదా అద్దం అసమర్థతను గోళాకార అబెర్రేషన్ అంటారు.

వక్రీభవన గుణకం 1.5 యొక్క వక్రీభవన ఉపరితలం కోసం డిగ్రీలలో ఇచ్చిన పతన కోణం కోసం వక్రీభవన కోణాన్ని పరిగణించగలరు

అందువల్ల పతన కోణం యొక్క పెద్ద విలువల కోసం, $\sin i/\sin r \ = \mu$ నిష్పత్తిని స్థిరంగా ఉంచడానికి, r విలువ బాగా తగ్గుతుంది. ఆ విధంగా ఒక తలం వక్రీభవన ఉపరితలంపై కాంతి పతనం సంభవించినప్పుడు, చిన్న పతన కోణం ఉన్న కిరణాలు మొదట ఫోకస్ అవుతాయి మరియు పెద్ద పతన కోణం ఉన్న కిరణాలు ఎక్కువ దూరం వద్ద ఫోకస్ అవుతాయి, అనగా; ఉపాంత కిరణాలు పారాక్సియల్ కిరణాల కంటే ఎక్కువ ఫోకల్ లెన్త్ కలిగి ఉంటాయి. వ్యవస్థ యొక్క ప్రధాన అక్షం వెంట కేంద్ర బిందువు యొక్క ఈ వ్యాప్తిని రేఖాంశ గోళాకార అబెర్రేషన్ అంటారు. సైన్ కన్వెన్షన్ ద్వారా, పారాక్సియల్ కిరణాలు ఫోకల్ లెన్త్ తక్కువగా ఉండటం వలన, ఇది ఋణ గోళాకార అబెర్రేషన్గా పరిగణించబడుతుంది.

కుంభాకార లెన్స్ విషయంలో, దాని వక్ర ఆకారం కారణంగా, పారాక్సియల్ కిరణాల కంటే ఉపాంత కిరణాలు మొదట ఫోకస్ అవుతాయి. అందువల్ల పారాక్సియల్ కిరణాలు ఎక్కువ ఫోకల్ లెన్త్ కలిగి ఉన్న సందర్భం సానుకూల గోళాకార అబెర్రేషన్గా పరిగణించబడుతుంది.

I_m మరియు I_p మధ్యలో ఎక్కడో సాధ్యమైనంత ఉత్తమమైన ఫోకస్ని గమనించవచ్చు. ఇక్కడ చిత్రం బిందువుకు బదులుగా వృత్తం AB రూపంలో ఉంటుంది. దీనినే సర్కిల్ ఆఫ్ లీస్ట్ కన్ఫ్యూజన్ అంటారు.

గోళాకార అబెర్రేషన్ రెండు రకాలు

1. రేఖాంశ గోళాకార అబెర్రేషన్: ఇది ఉపాంత కిరణాల ఫోకస్ పాయింట్ మరియు పారాక్సియల్ రే ఫోకస్ పాయింట్ మధ్య విభజన.
2. పార్శ్వ గోళాకార అబెర్రేషన్: ఇది కనీసం గందరగోళం యొక్క వృత్తం యొక్క వ్యాసార్థం.

In the case of convex lens, because of its curved shape, marginal rays focus first than the paraxial rays. Thus the case where paraxial rays have longer focal length is considered to be positive spherical aberration.

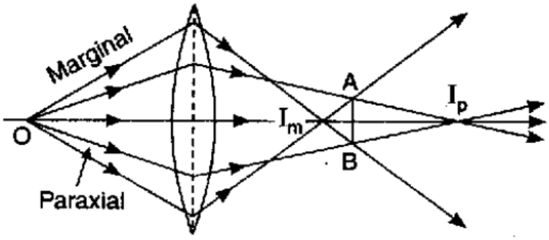


Fig: Spherical aberration in convex lens.

Somewhere in between I_m and I_p best possible focus may be observed at AB. Here the image will be in the form of a circle instead of a point. This is called circle of least confusion.

Spherical aberration is of two types

3. Longitudinal spherical aberration: It is the seperation between marginal rays focus point and paraxial ray focus point.
4. Lateral spherical aberration: It is the radius of the circle of least confusion.

4.4 Minimization of Spherical aberration

The spherical aberration can be minimized by using the following methods.

1. **By using stops:** Proper size of opaque materials are used to block either the marginal rays or the paraxial rays from incidenting on the lens/mirror system. Then sharp image will be formed at the paraxial focus point or marginal point respectively. The only problem with this method is that the image formed will be of lower intensity as majority of the light rays are blocked.

4.4 గోళాకార అబెర్రేషన్ యొక్క కనిష్టీకరణ

కింది పద్ధతులను ఉపయోగించడం ద్వారా గోళాకార అబెర్రేషన్ను తగ్గించవచ్చు.

1. **స్టాప్‌లను ఉపయోగించడం ద్వారా:**లెన్స్/మిర్రర్ సిస్టమ్‌పై పతనం చెందే మార్జినల్ కిరణాలు లేదా పారాక్సియల్ కిరణాలను నిరోధించడానికి అపారదర్శక పదార్థాల సరైన పరిమాణం ఉపయోగించబడుతుంది. అప్పుడు ఉత్తమమైన చిత్రం వరుసగా పారాక్సియల్ ఫోకస్ పాయింట్ లేదా మార్జినల్ పాయింట్ వద్ద ఏర్పడుతుంది. ఈ పద్ధతిలో ఉన్న ఏకైక సమస్య ఏమిటంటే, మెజారిటీ కాంతి కిరణాలు నిరోధించబడినందున ఏర్పడిన చిత్రం తక్కువ తీవ్రతతో ఉంటుంది.
2. **కుంభాకార-పుటాకార లెన్స్ డబుల్ ఉపయోగించడం ద్వారా:**కుంభాకార కటకం ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన గోళాకార అబెర్రేషన్ సానుకూల సంకేతం మరియు పుటాకార కటకం ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడినది ప్రతికూల సంకేతం. అందువల్ల కుంభాకార కటకం మరియు పుటాకార కటకం యొక్క సరిఅయిన కలయిక ద్వంద్వంగా ఏర్పడటానికి ఉపయోగించబడుతుంది, ఇది గోళాకార అబెర్రేషన్ను తొలగించగలదు.
3. **దూరంతో వేరు చేయబడిన ప్లానో-కుంభాకార కటకములను ఉపయోగించడం ద్వారా:**రెండు ప్లానో-కుంభాకార కటకములు వాటి ఫోకల్ లెన్త్ యొక్క వ్యత్యాసానికి సమానమైన దూరంతో వేరు చేయబడినప్పుడు, కలయిక గోళాకార అబెర్రేషన్ను తొలగిస్తుంది.

   రెండు ప్లానో-కుంభాకార లెన్స్‌లను L_1, L_2 పరిగణించగలరు , వాటి కుంభాకార ఉపరితలం మరింత సమాంతర పుంజానికి ఎదురుగా, d దూరంతో వేరుచేయబడి ఉంటుంది. లెట్ మరియు వారి ఫోకల్ లెంగ్త్‌లు.f_1, f_2.

   సమాంతర పుంజం AB పతనంను పరిగణించగలరు. L_1 ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన విచలనం δ మరియు L_2 వద్ద ఉత్పత్తి చేయబడినది కూడా δ ఉండనివ్వండి.

   BC కిరణం L_2 లేనప్పుడు సరళ రేఖ F_1 వెంట ప్రయాణించాలి. కానీ లెన్స్ L_2 కారణంగా, ఇది F_2 ఫోకస్ కేంద్రీకరించబడుతుంది.

   రేఖాచిత్రం నుండి సరళ రేఖ BCF_1 నుండి,

$$\angle CBD = \angle CF_1F_2 = \delta$$

   అప్పుడు త్రిభుజం ΔCF_1F_2 నుండి , రెండు కోణాలు సమానంగా ఉంటాయి కాబట్టి (ఇది మేము చేసిన ఊహ),

$$\angle F_2CF_1 = \angle CF_1F_2 \implies CF_2 = F_2F_1$$

   అలాగే CO_2 చిన్నది కాబట్టి, $O_2F_2 \simeq CF_2$ వ్రాయవచ్చు. మరో మాటలో చెప్పాలంటే, O_2F_1 మధ్య బిందువు F_2 అవుతుంది.

   ముగింపులో,

$$O_2F_2 = F_2F_1 = \frac{f_1 - d}{2}$$

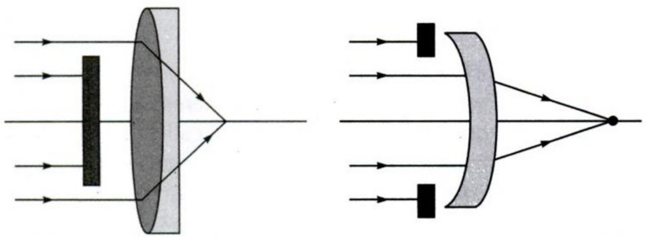


Fig: Spherical aberration minimization using stops.

4. **By using convex-concave lens doublet:** The spherical aberration produced by a convex lens is of positive sign and that produced by the concave lens is of negative sign. Thus a suitable combination of convex lens and concave lens may be used to form a doublet which can eliminate spherical aberration.

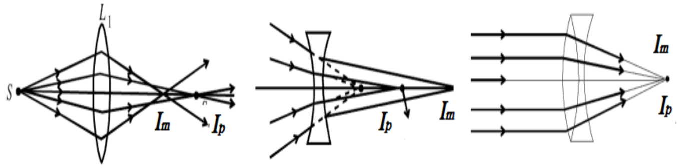


Fig: Convex – Concave doublet

5. **By using plano-convex lenses separated by a distance:** When two plano-convex lenses separated by a distance which is equal to the difference of their focal length, the combination eliminates the spherical aberration.

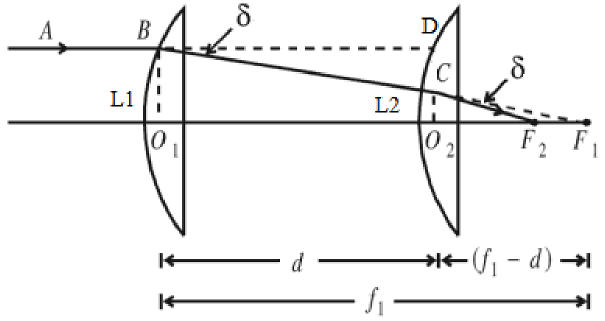


Fig: Plano-convex lenses separated by a distance

Consider two plano-convex lenses L_1, L_2 with their convex surface facing the more parallel beam, separated by a distance d. Let f_1 and f_2 be their focal lengths.

L_1 ద్వారా F_1 వద్ద ఏర్పడిన చిత్రం L_2 వద్ద ఒక వస్తువుగా పనిచేస్తుంది మరియు F_2 వద్ద వర్చువల్ చిత్రాన్ని రూపొందిస్తుంది. కాబట్టి లెన్స్ సమీకరణాన్ని ఉపయోగించడం ద్వారా,

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f} \Rightarrow -\frac{1}{O_2F_1}+\frac{1}{O_2F_2}=\frac{1}{f_2}$$
$$\Rightarrow -\frac{1}{f_1-d}+\frac{2}{f_1-d}=\frac{1}{f_2} \Rightarrow f_1-d=f_2$$
$$\Rightarrow d=f_1-f_2$$

ఈ విధంగా రెండు లెన్స్‌ల మధ్య విభజన వాటి ఫోకల్ లెంగ్త్‌ల వ్యత్యాసానికి సమానంగా ఉన్నప్పుడు, వాటి ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన విచలనం సమానంగా మారుతుంది. అన్ని వక్రీభవన ఉపరితలాల వద్ద ఉత్పత్తి చేయబడిన విచలనం సమానంగా ఉంటే, లెన్స్ యొక్క ప్రతి వక్రీభవన ఉపరితలం వద్ద ఉత్పత్తి చేయబడిన సానుకూల మరియు ప్రతికూల అబెర్రేషన్లు రద్దు చేయబడతాయి.

4. **ఆకార కారకం:**లెన్స్ ఆకారం, మరో మాటలో చెప్పాలంటే లెన్స్ యొక్క ప్రతి వక్రీభవన ఉపరితలం యొక్క వక్రత, లెన్స్ ఉత్పత్తి చేసే గోళాకార అబెర్రేషన్ను ప్రభావితం చేస్తుంది. పతన మరియు ఉద్భవించే కిరణాలలో మరింత సమాంతర పుంజం వైపు వక్రత ఎక్కువగా ఉండాలి.

ఉదా: టెలిస్కోప్ యొక్క ఆబ్జెక్ట్ లెన్స్‌పై సుదూర వస్తువు నుండి కాంతి కిరణాలు పడడాన్ని పరిగణించగలరు . సమతల ఉపరితలం పతన ప్లేన్ బీమ్‌ను ఎదుర్కొన్నట్లయితే, సమతలం ఉపరితలం వద్ద ఎటువంటి విచలనం జరగదు మరియు మొత్తం విచలనం వక్ర ఉపరితలం వద్ద ఉంటుంది. అందువల్ల ఉత్పన్నమయ్యే సానుకూల మరియు ప్రతికూల అబెర్రేషన్లు అసమానంగా ఉంటాయి. వక్ర ఉపరితలం పతన ప్లేన్ పుంజానికి ఎదురుగా ఉంటే, సానుకూల మరియు ప్రతికూల గోళాకార అబెర్రేషన్లు మరింత సమానంగా పంపిణీ చేయబడతాయి.

లెన్స్ యొక్క ఆకృతి కూడా ఉపయోగించిన పదార్థం యొక్క వక్రీభవన గుణకం ద్వారా నిర్ణయించబడుతుంది. కింది షరతు సంతృప్తి చెందినట్లయితే రెండు ఉపరితలాల ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన విచలనం సమానంగా పంపిణీ చేయబడుతుంది.

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{2\mu^2-\mu-4}{\mu(2\mu+1)}$$

అందువలన $\mu=1.5$ ఉంటే $R_1/R_2=-1/6$, .$\mu=1.686$ ఉంటే $R_1/R_2=0$, . అందువల్ల, మొదటి సందర్భంలో లెన్స్ వక్రత యొక్క అసమాన రేడియాలతో డబుల్ కుంభాకారంగా ఉండాలి; రెండవ సందర్భంలో అది తప్పనిసరిగా ప్లానో-కుంభాకార లెన్స్ అయి ఉండాలి

2. **అక్షసంబంధ GRIN లెన్స్ ఉపయోగించడం ద్వారా:**వక్రీభవన కోణంలో పెరుగుదల తక్కువగా మరియు పతన కోణం పెరుగుదలతో తక్కువగా ఉన్నందున గోళాకార అబెర్రేషన్ ఉత్పత్తి అవుతుంది. లెన్స్ యొక్క వక్రీభవన గుణకం కూడా తదనుగుణంగా కేంద్రం నుండి రేడియల్ గా తగ్గితే, గోళాకార అబెర్రేషన్ను తగ్గించవచ్చు. లెన్స్‌ని యాక్సియల్ గ్రేడెడ్ ఇండెక్స్ లెన్స్ అంటారు.

Consider a parallel beam AB incident on L_1. Let the deviation produced by L_1 at B be δ and that produced by L_2 at C also be δ.

In the absence of L_2 the ray has to travel along the straight line BCF_1. But because of lens L_2, it will be focused at F_2.

From the diagram since BCF_1 is a straight line,

$$\angle CBD = \angle CF_1F_2 = \delta$$

Then from the triangle ΔCF_1F_2, since two angles are equal (This is an assumption we made),

$$\angle F_2CF_1 = \angle CF_1F_2 \implies CF_2 = F_2F_1$$

Also since CO_2 is negligibly small, one can write $O_2F_2 \simeq CF_2$. In otherwords, F_2 becomes the mid point of O_2F_1.

In conclusion,

$$O_2F_2 = F_2F_1 = \frac{f_1 - d}{2}$$

The image formed by L_1 at F_1 acts as an object for L_2 and forms a virtual image at F_2. Thus by using the lens equation,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \implies -\frac{1}{O_2F_1} + \frac{1}{O_2F_2} = \frac{1}{f_2}$$

$$\Rightarrow -\frac{1}{f_1 - d} + \frac{2}{f_1 - d} = \frac{1}{f_2} \Rightarrow f_1 - d = f_2$$

$$\Rightarrow d = f_1 - f_2$$

Thus when the separation between the two lenses is equal to the difference of their focal lengths, the deviation produced by them will become equal. If the deviation produced at all refracting surfaces is equal, the positive and negative aberrations produced at each refracting surface of the lens will get cancelled.

6. **Shape factor:** The shape of the lens, in otherwords the curvature of each refracting surface of the lens, will affect the spherical aberration produced by the lens. The curvature should be higher towards the more parallel beam in the incident and emergent rays.

   Eg: Consider light rays from distant object fall on the object lens of telescope. If the plane surface faces the incident plane beam, no deviation occurs at the plane surface and entire

deviation is at the curved surface. Thus the positive and the negative aberrations produed are unequal. If the curved surface faces the incident plane beam, the positive and negative spherical aberrations are more evenly distributed.

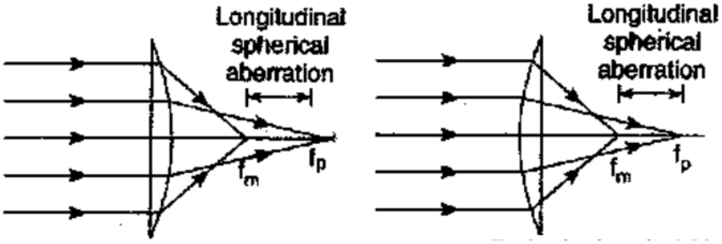


Fig: Spherical aberration and lens shape.

The shape of the lens is also decided by the refractive index of the material used. The deviation produced by the two surfaces will be evenly distributed if the following condition is satisfied.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{2\mu^2 - \mu - 4}{\mu(2\mu + 1)}$$

Thus if $\mu = 1.5$, $R_1/R_2 = -1/6$, if $\mu = 1.686$, $R_1/R_2 = 0$. Therefore, in the first case the lens must be double convex with uneven radii of curvature; whereas in the second case it must be a plano-convex lens.

7. **By using axial GRIN lens:** Spherical aberration is produced as the increment in angle of refraction is lower and lower with a rise in angle of incidence. If the refractive index of the lens also reduces accordingly away from the centre radially, spherical aberration can be minimized. The lens is called the axial graded index lens.

4.5 Coma

Coma is a monochromatic optical aberration in which a point object lies off the axis and the image will be formed in the shape of a comet.

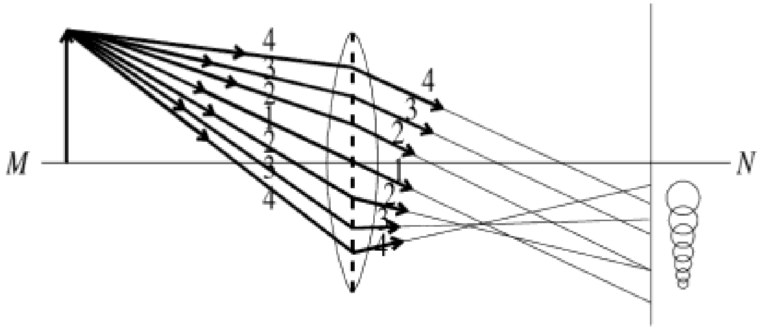


Fig: Coma optical aberration.

This is an extension of the spherical aberration in the sense that the focus point of marginal rays and paraxial rays differs. The only difference is that the point object lies off the axis in coma and on the axis in the spherical aberration.

If spherical aberration is zero, first order coma will also be zero. Still higher order terms will contribute to higher order coma aberration.

Abbe's sine condition gives a mathematical relation to eliminate first order Coma aberration. The relation is given by

$$\mu_1 y_1 \sin\theta_1 = \mu_2 y_2 \sin\theta_2$$

here y_1 and y_2 are the heights of the object and image from the optical axis respectively. Satisfying this condition will also eliminate the spherical aberration.

Other options to reduce comatic aberration are same as that for spherical aberration. i.e.; by using stops, by using plano-convex lenses separated by a distance, by adjusting the radii of curvature of the lenses, by using a combination of convex and concave lens etc.

4.6 Astigmatism

Astigmatism is an off-axis monochromatic optical aberration where the optical system has different magnifications or focal lengths along horizontal and vertical directions.

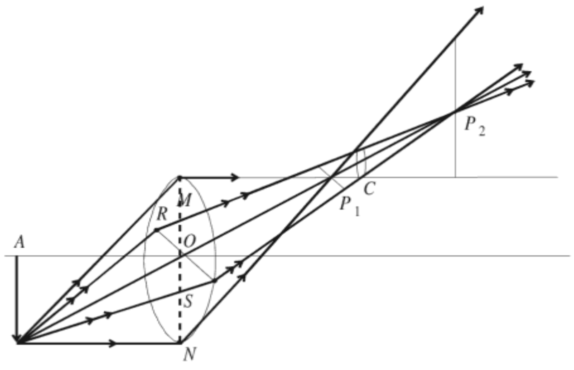


Fig: Astigmatism

This arises due to the variation in the radius of curvature of the refracting surfaces in the horizontal and vertical directions. The horizontal plane is called Sagittal plane and the vertical plane is called as Meridional plane.

Fig: Original, Sagittal and Meridional focused image.

Here Sagittal image will be in the shape of a horizontal ellipse and Meridional image will be in the shape of a vertical ellipse. The distance between these two is called the Astigmatic difference. In between those two images a best possible image in the circular shape may be found.

Astigmatism can be eliminated by using stops.

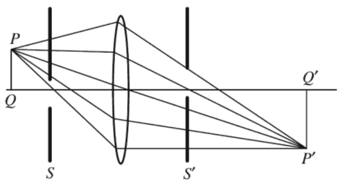


Fig: Stops to eliminate Astigmatism.

The Astigmatic difference for convex lens is positive and that for concave lens is negative. Hence a suitable combination of convex and concave lenses may eliminate the astigmatic aberration.

The condition for convex – concave lens system for the correction of astigmatic difference is given by "Petzval condition", which is stated as

$$\frac{1}{n_1 f_1} + \frac{1}{n_2 f_2} = 0 \quad or \quad n_1 f_1 + n_2 f_2 = 0$$

here n_1, n_2 are the refractive indices and f_1, f_2 are the focal lengths of the convex and concave lenses respectively.

The image will be formed in a plane that lies in between sagittal image and meridional image. The plane is called Petzval plane. This Astigmatic correction is highly essential in wide angle photography.

4.7 Field curvature

The defect in a lens system while forming the image of a flat object in a curved shape is called the field curvature aberration.

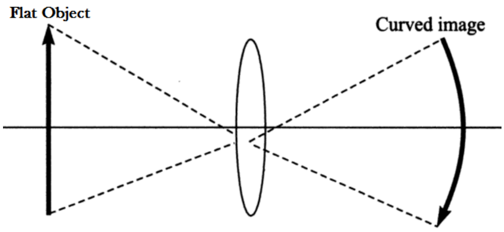


Fig: Field curvature aberration.

This defect arises due to the curved shape of the lenses and mirrors used in the optical systems.

This can be eliminated by using a combination of convex and concave lens system that satisfies the Petzval condition.

$$n_1 f_1 = -n_2 f_2$$

Alternative option is to use curved optical sensors in the image recording system.

4.5 కోమా

కోమా అనేది మోనోక్రోమటిక్ ఆప్టికల్ అబెర్రేషన్, దీనిలో పాయింట్ ఆబ్జెక్ట్ అక్షం నుండి దూరంగా ఉంటుంది మరియు చిత్రం కామెట్ ఆకారంలో ఏర్పడుతుంది.

ఉపాంత కిరణాలు మరియు పారాక్సియల్ కిరణాల ఫోకస్ పాయింట్ భిన్నంగా ఉంటుంది అనే కోణంలో ఇది గోళాకార అబెర్రేషన్ యొక్క పొడిగింపు. ఒకే తేడా ఏమిటంటే, కోమాలో పాయింట్ ఆబ్జెక్ట్ అక్షం నుండి దూరంగా ఉంటుంది మరియు గోళాకార అబెర్రేషన్లో అక్షం మీద ఉంటుంది.

గోళాకార అబెర్రేషన్ సున్నా అయితే, మొదటి ఆర్డర్ కోమా కూడా సున్నా అవుతుంది. ఇప్పటికీ అధిక ఆర్డర్ నిబంధనలు అధిక ఆర్డర్ కోమా అబెర్రేషన్కు దోహదం చేస్తాయి.

అబ్బే యొక్క సైన్ కండిషన్ మొదటి ఆర్డర్ కోమా అబెర్రేషన్ను తొలగించడానికి గణిత సంబంధాన్ని అందిస్తుంది. సంబంధం ద్వారా ఇవ్వబడింది

$$\mu_1 y_1 \sin\theta_1 = \mu_2 y_2 \sin\theta_2$$

ఇక్కడ y_1 మరియు y_2 ఆప్టికల్ అక్షం నుండి వస్తువు మరియు చిత్రం యొక్క ఎత్తులు వరుసగా ఉంటాయి. ఈ పరిస్థితిని సంతృప్తి పరచడం వలన గోళాకార అబెర్రేషన్ కూడా తొలగిపోతుంది.

కోమాటిక్ అబెర్రేషన్ని తగ్గించడానికి ఇతర ఎంపికలు గోళాకార అబెర్రేషన్కు సమానంగా ఉంటాయి. అనగా; స్టాప్లను ఉపయోగించడం ద్వారా, దూరంతో వేరు చేయబడిన ప్లానో-కుంభాకార కటకాలను ఉపయోగించడం ద్వారా, లెన్స్ల వక్రత యొక్క రేడియాలను సర్దుబాటు చేయడం ద్వారా, కుంభాకార మరియు పుటాకార లెన్స్ల కలయికను ఉపయోగించడం ద్వారా మొదలైనవి.

4.6 ఆస్టిగ్మాటిజం

ఆస్టిగ్మాటిజం అనేది ఆఫ్-యాక్సిస్ మోనోక్రోమాటిక్ ఆప్టికల్ అబెర్రేషన్, ఇక్కడ ఆప్టికల్ సిస్టమ్ క్షితిజ సమాంతర మరియు నిలువు దిశలలో విభిన్న మాగ్నిఫికేషన్లు లేదా ఫోకల్ లెంగ్త్లను కలిగి ఉంటుంది. క్షితిజ సమాంతర మరియు నిలువు దిశలలో వక్రీభవన ఉపరితలాల వక్రత యొక్క వ్యాసార్ధంలో వైవిధ్యం కారణంగా ఇది పుడుతుంది. క్షితిజ సమాంతర సమతలాన్ని సాగిట్టల్ ప్లేన్ అని మరియు నిలువు సమతలాన్ని మెరిడియోనల్ ప్లేన్ అని పిలుస్తారు.

ఇక్కడ సాగిట్టల్ చిత్రం క్షితిజ సమాంతర దీర్ఘవృత్తాకారంలో మరియు మెరిడియోనల్ చిత్రం నిలువు దీర్ఘవృత్తాకార ఆకారంలో ఉంటుంది. ఈ రెండింటి మధ్య దూరాన్ని ఆస్టిగ్మాటిక్ తేడా అంటారు. ఆ రెండు చిత్రాల మధ్య వృత్తాకార ఆకారంలో సాధ్యమైనంత ఉత్తమమైన చిత్రం కనుగొనవచ్చు.

స్టాప్లను ఉపయోగించడం ద్వారా ఆస్టిగ్మాటిజం తొలగించబడుతుంది.

కుంభాకార లెన్స్కు ఆస్టిగ్మాటిక్ వ్యత్యాసం సానుకూలంగా ఉంటుంది మరియు పుటాకార లెన్స్కు ప్రతికూలంగా ఉంటుంది. అందువల్ల కుంభాకార మరియు పుటాకార కటకాల యొక్క సరైన కలయిక ఆస్టిగ్మాటిక్ అబెర్రేషన్ను తొలగించవచ్చు.

ఆస్టిగ్మాటిక్ వ్యత్యాసాన్ని సరిచేయడానికి కుంభాకార - పుటాకార లెన్స్ వ్యవస్థ యొక్క షరతు "పెట్జ్వాల్ కండిషన్" ద్వారా ఇవ్వబడింది, ఇది ఇలా పేర్కొనబడింది

4.8 Distortion

The monochromatic aberrations studied so far produce a lateral shift in the image. i.e.; the defective image will have a focus point out of the image plane. Even if all the other monochromatic aberrations like spherical aberration, coma, astigmatism, field curvature are absent and image is strictly restricted to the image plane, there is still the possibility of distortion in the image.

Distortion is a measure of the deviation produced in the image compared to the original object size multiplied by magnification.

Suppose h is the size of the object and $h' = mh$ be the size of the image. Here m is the magnification produced by the optical system. Then distortion is defined as

$$D = \frac{h'_{observed} - h'_{expected}}{h'_{expected}}\%$$

If the lens system is circular in shape or has radial symmetry, then the distortion produced will also have radial symmetry. There are two types of such distortions. 1. Pin cushion distortion 2. Barrel distortion and the Mustache distortion results from a combination of these two.

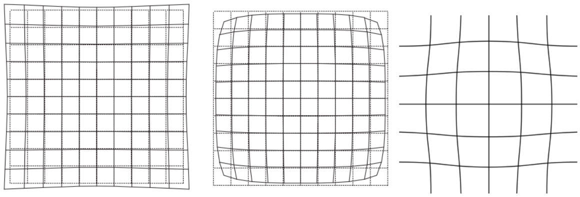


Fig: Pin cushion, Barrel and Mustache type distortion.

In pin cushion type distortion, the magnification increases as we go away from the optic axis radially whereas in barrel type the distortion increases radially. Here pin cushion type distortion is positive and barrel type distortion is negative. Mustache type distortion is a combination of both pin cushion type and barrel type distortions.

If the optical system has no radial symmetry, i.e.; if the lenses and apertures are not circular, then two other types of distortions are

$$\frac{1}{n_1 f_1} + \frac{1}{n_2 f_2} = 0 \quad or \quad n_1 f_1 + n_2 f_2 = 0$$

ఇక్కడ, n_1, n_2 వక్రీభవన గుణకం లు మరియు , f_1, f_2 వరుసగా కుంభాకార మరియు పుటాకార లెన్స్ ల ఫోకల్ లెంగ్త్‌లు.

చిత్రం సాగిట్టల్ ఇమేజ్ మరియు మెరిడియల్ ఇమేజ్ మధ్య ఉన్న ఒక సమతలం లో ఏర్పడుతుంది. ఆ విమానాన్ని పెట్జ్వాల్ ప్లేన్ అంటారు. వైడ్ యాంగిల్ ఫోటోగ్రఫీలో ఈ ఆస్టిగ్మాటిక్ కరెక్షన్ చాలా అవసరం.

4.7 ఫీల్డ్ వక్రత

వంపు ఆకారంలో ఫ్లాట్ ఆబ్జెక్ట్ యొక్క ఇమేజ్‌ను ఏర్పరుస్తున్నప్పుడు లెన్స్ సిస్టమ్‌లోని లోపాన్ని ఫీల్డ్ కర్వేచర్ అబెర్రేషన్ అంటారు.

ఆప్టికల్ సిస్టమ్స్‌లో ఉపయోగించే లెన్స్‌లు మరియు అద్దాల వక్ర ఆకారం కారణంగా ఈ లోపం తలెత్తుతుంది.

పెట్జ్వాల్ పరిస్థితిని సంతృప్తిపరిచే కుంభాకార మరియు పుటాకార లెన్స్ వ్యవస్థ కలయికను ఉపయోగించడం ద్వారా దీనిని తొలగించవచ్చు.

$$n_1 f_1 = -n_2 f_2$$

ఇమేజ్ రికార్డింగ్ సిస్టమ్‌లో కర్వ్డ్ ఆప్టికల్ సెన్సార్‌లను ఉపయోగించడం ప్రత్యామ్నాయ ఎంపిక.

4.8 వక్రీకరణ

ఇప్పటివరకు అధ్యయనం చేయబడిన ఏకవర్ణ అబెర్రేషన్లు చిత్రంలో పార్శ్వ మార్పును ఉత్పత్తి చేస్తాయి. అనగా; లోపభూయిష్ట చిత్రం ఇమేజ్ ప్లేన్ నుండి ఫోకస్ పాయింట్‌ను కలిగి ఉంటుంది. గోళాకార అబెర్రేషన్, కోమా, ఆస్టిగ్మాటిజం, ఫీల్డ్ వక్రత వంటి అన్ని ఇతర ఏకవర్ణ అబెర్రేషన్లు లేకపోయినా మరియు ఇమేజ్ ఖచ్చితంగా ఇమేజ్ ప్లేన్‌కు పరిమితం చేయబడినప్పటికీ, ఇమేజ్‌లో వక్రీకరణకు అవకాశం ఉంది.

వక్రీకరణ అనేది మాగ్నిఫికేషన్ ద్వారా గుణించబడిన అసలు ఆబ్జెక్ట్ పరిమాణంతో పోలిస్తే ఇమేజ్‌లో ఉత్పత్తి చేయబడిన విచలనం యొక్క కొలత.

వస్తువు యొక్క పరిమాణం h మరియు చిత్రం యొక్క పరిమాణం $h' = mh$ అని అనుకుందాం. ఆప్టికల్ సిస్టమ్ ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన మాగ్నిఫికేషన్ m ఇక్కడ ఉంది. అప్పుడు వక్రీకరణగా నిర్వచించబడింది

$$D = \frac{h'_{observed} - h'_{expected}}{h'_{expected}} \%$$

observed. 3. Keystone distortion 4.Bowing distortion. Here the distortion may be positive or negative in both the cases.

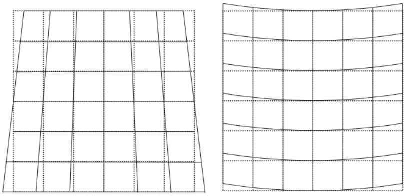


Fig: Keystone and Bowing distortions.

The distortion of 2% or below may produce neglible deviation for normal visual inspection.

Since distortion aberration is purely geometrical, it can be eliminated by image manipulation software. However that requires a proper calibration of the defect produced by the optical system.

This can also be eliminated by using two homominiscus convex lenses placed with their convex surfaces facing outwards and placing an aperture stop in the middle as shown in the figure. The combination is called orthoscopic doublet or rapid rectilinear lens. These lenses have an added advantage in that they also eliminate field curvature.

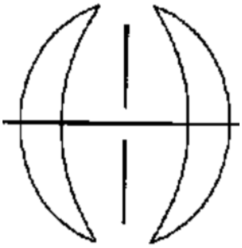


Fig: Orthoscopic doublet

4.9 Chromatic aberration

The focal length of a thin lens as given by Gaussian approximation is

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

లెన్స్ వ్యవస్థ వృత్తాకారంలో ఉంటే లేదా రేడియల్ సమరూపతను కలిగి ఉంటే, అప్పుడు ఉత్పత్తి చేయబడిన వక్రీకరణ కూడా రేడియల్ సమరూపతను కలిగి ఉంటుంది. ఇటువంటి వక్రీకరణలు రెండు

రకాలు. 1. పిన్ కుషన్ వక్రీకరణ 2. బారెల్ వక్రీకరణ మరియు మీసం వక్రీకరణ ఈ రెండింటి కలయిక వలన ఏర్పడుతుంది.

పిన్ కుషన్ రకం వక్రీకరణలో, ఆప్టిక్ అక్షం నుండి రేడియల్‌గా దూరంగా వెళ్లినప్పుడు మాగ్నిఫికేషన్ పెరుగుతుంది, అయితే బారెల్ రకంలో వక్రీకరణ రేడియల్‌గా పెరుగుతుంది. ఇక్కడ పిన్ కుషన్ రకం వక్రీకరణ సానుకూలంగా ఉంటుంది మరియు బారెల్ రకం వక్రీకరణ ప్రతికూలంగా ఉంటుంది. మీసం రకం వక్రీకరణ అనేది పిన్ కుషన్ రకం మరియు బారెల్ రకం వక్రీకరణలు రెండింటి కలయిక.

ఆప్టికల్ సిస్టమ్‌లో రేడియల్ సమరూపత లేకుంటే, అనగా; లెన్స్‌లు మరియు ఎపర్చర్లు వృత్తాకారంగా లేకుంటే, మరో రెండు రకాల వక్రీకరణలు గమనించబడతాయి. 3. కీస్టోన్ వక్రీకరణ 4. విల్లు వక్రీకరణ. ఇక్కడ వక్రీకరణ రెండు సందర్భాల్లోనూ సానుకూలంగా లేదా ప్రతికూలంగా ఉండవచ్చు.

2% లేదా అంతకంటే తక్కువ వక్రీకరణ సాధారణ దృశ్య తనిఖీకి అతితక్కువ విచలనాన్ని కలిగిస్తుంది.

వక్రీకరణ అబెర్రేషన్ పూర్తిగా రేఖాగణితం కాబట్టి, ఇది ఇమేజ్ మానిప్యులేషన్ సాఫ్ట్‌వేర్ ద్వారా తొలగించబడుతుంది. అయితే దీనికి ఆప్టికల్ సిస్టమ్ ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన లోపం యొక్క సరైన క్రమాంకనం అవసరం.

రెండు హోమోమినిస్కస్ కుంభాకార కటకములను వాటి కుంభాకార ఉపరితలాలు వెలుపలికి ఎదురుగా ఉంచడం ద్వారా మరియు చిత్రంలో చూపిన విధంగా మధ్యలో ఎపర్చరు స్టాప్‌ను ఉంచడం ద్వారా కూడా దీనిని తొలగించవచ్చు. ఈ కలయికను ఆర్థోస్కోపిక్ డబుల్ లేదా రాపిడ్ రెక్టిలినియర్ లెన్స్ అంటారు. ఈ లెన్స్‌లు అదనపు ప్రయోజనాన్ని కలిగి ఉంటాయి, అవి ఫీల్డ్ వక్రతను కూడా తొలగిస్తాయి.

4.9 క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్

గాస్సియన్ ఉజ్జాయింపు ద్వారా అందించబడిన సన్నని లెన్స్ యొక్క ఫోకల్ లెన్త్

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

దీని నుండి కాంతి యొక్క ఫోకల్ లెన్త్ వక్రీభవన గుణకం యొక్క విలోమం వలె మారుతుందని మేము ఊహించాము. కాంతి యొక్క వక్రీభవన గుణకం దాని తరంగదైర్ఘ్యం వలె విలోమంగా మారుతుందని కూడా మనకు తెలుసు. అందువల్ల తరంగదైర్ఘ్యం పెరిగేకొద్దీ, ఫోకల్ లెన్త్ కూడా పెరుగుతుంది.

అందువల్ల తెల్లని కాంతి లెన్స్ గుండా వెళుతున్నప్పుడు, అధిక తరంగదైర్ఘ్యాలు ఎక్కువ దూరం వద్ద కేంద్రీకరించబడతాయి. ఈ లెన్స్ లోపాన్ని క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్ అంటారు.

from which we infer that the focal length of the light varies as the inverse of the refractive index. We also know that the refractive index of light varies inversely as its wavelength. Therefore as the wavelength increases, focal length also increases.

Thus when white light passes through a lens, higher wavelengths will get focused at longer distances. This defect of lens is called chromatic aberration.

Chromatic aberration can be classified into two types.

1. Longitudinal chromatic aberration: In this type, object lies on the principal axis of the lens system and the focal length shift is also along the principal axis of the system.
2. Lateral chromatic aberration: In this type, the object lies off the axis and the shift in focal points corresponding to various wavelegths is present in the vertical plane of the lens system.

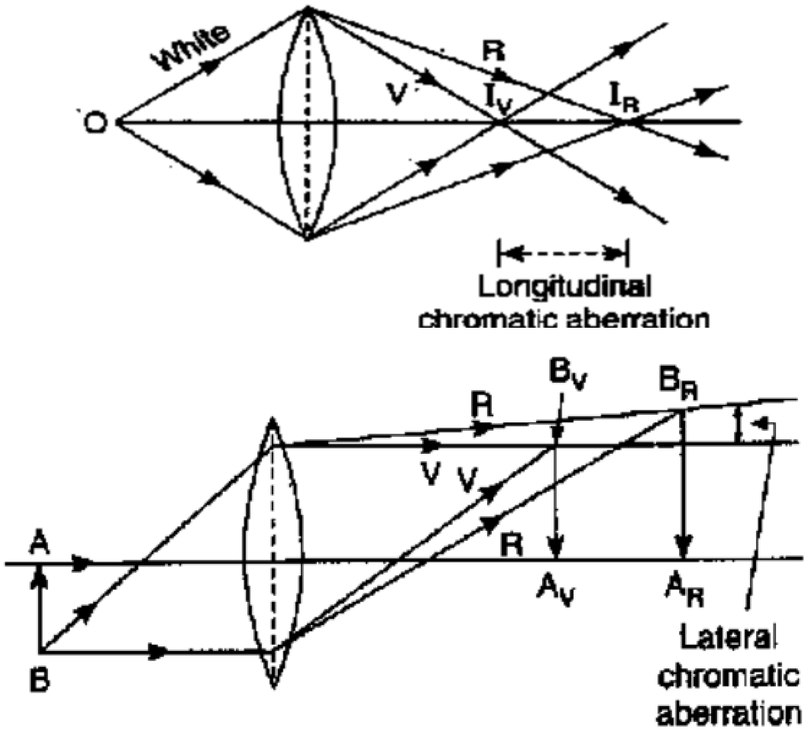


Fig: Longitudinal and lateral chromatic aberrations.

4.9 క్రోమాటిక్ అబెరేషన్

వర్ణ విచలనాన్ని రెండు రకాలుగా వర్గీకరించవచ్చు.

1. రేఖాంశ క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్: ఈ రకంలో, వస్తువు లెన్స్ సిస్టమ్ యొక్క ప్రధాన అక్షం మీద ఉంటుంది మరియు ఫోకల్ లెంగ్త్ షిఫ్ట్ కూడా సిస్టమ్ యొక్క ప్రధాన అక్షం వెంట ఉంటుంది.
2. లాటరల్ క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్: ఈ రకంలో, ఆబ్జెక్ట్ అక్షం నుండి దూరంగా ఉంటుంది మరియు వివిధ తరంగదైర్ఘ్యాలకు సంబంధించిన ఫోకల్ పాయింట్లలో మార్పు లెన్స్ వ్యవస్థ యొక్క నిలువు సమతలంలో ఉంటుంది.

వస్తువు అనంతం వద్ద ఉన్నప్పుడు రేఖాంశ క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్:

లెన్స్ తయారీదారు సూత్రం ద్వారా అందించబడిన వైలెట్, ఎరుపు మరియు సగటు రంగు పసుపు కోసం ఫోకల్ లెన్త్ వ్యక్తీకరణ

$$\frac{1}{f_V} = (\mu_V - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (1)$$

$$\frac{1}{f_R} = (\mu_R - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (2)$$

$$\frac{1}{f_Y} = (\mu_Y - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (3)$$

మొదటి రెండు తీసివేస్తే,

$$\frac{1}{f_V} - \frac{1}{f_R} = (\mu_V - \mu_R)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

లేదా

$$\frac{f_R - f_V}{f_R f_V} = (\mu_V - \mu_R)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (4)$$

విభజన Eq. (4) Eq ద్వారా. (3) ఇస్తుంది

$$\frac{f_R - f_V}{f_R f_V} . f_Y = \frac{\mu_V - \mu_R}{\mu_Y - 1} = \omega \quad --- (5)$$

పైన పేర్కొన్నదానిలో, మాధ్యమం యొక్క వ్యాప్తి శక్తి. వ్రాయడం ద్వారా మరింత సరళీకరణ పొందబడుతుంది, దీని ఫలితంగా వస్తుంది$\omega f_R f_V = f_Y^2$

$$f_R - f_V = \omega f_Y \quad --- (6)$$

అందువల్ల రేఖాంశ క్రోమాటి అబెర్రేషన్ పూర్తిగా లెన్స్ యొక్క పదార్థం యొక్క చెదరగొట్టే శక్తి ద్వారా నియంత్రించబడుతుంది మరియు సగటు రంగు యొక్క ఫోకల్ లెన్త్‌కు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

Longitudinal chromatic aberration when the object is at infinity:

Focal length expression for violet, red and the mean color yellow as given by Lens maker's formula is

$$\frac{1}{f_V} = (\mu_V - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (1)$$

$$\frac{1}{f_R} = (\mu_R - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (2)$$

$$\frac{1}{f_Y} = (\mu_Y - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (3)$$

Subtracting the first two gives,

$$\frac{1}{f_V} - \frac{1}{f_R} = (\mu_V - \mu_R)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Or

$$\frac{f_R - f_V}{f_R f_V} = (\mu_V - \mu_R)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (4)$$

Dividing Eq. (4) by Eq. (3) gives

$$\frac{f_R - f_V}{f_R f_V} . f_Y = \frac{\mu_V - \mu_R}{\mu_Y - 1} = \omega \quad --- (5)$$

In the above, ω is the dispersive power of the medium. Further simplification is obtained by writing $f_R f_V = f_Y^2$, which results in

$$f_R - f_V = \omega f_Y \quad --- (6)$$

Thus longitudinal chromati aberration is purely controlled by the dispersive power of the material of the lens and is proportional to the focal legth of the mean color.

Longitudinal chromatic aberration when the object is at finite distance:

The Gaussian equation for this lens is given by

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

వస్తువు పరిమిత దూరంలో ఉన్నప్పుడు రేఖాంశ క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్:

ఈ లెన్స్‌కి గాస్సియన్ సమీకరణం ఇవ్వబడింది

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

వస్తువు స్థిరమైన దూరం వద్ద ఉంచబడినప్పుడు మరియు విభిన్న రంగులకు సంబంధించిన చిత్రం వేర్వేరు దూరాలలో ఏర్పడినప్పుడు కేసును పరిగణించగలరు . అప్పుడు భేదం మీద, ఒకరు పొందుతారుu

$$-\frac{1}{v^2}dv-0=-\frac{1}{f^2}df$$

ప్రత్యామ్నాయం , , సగటు వేగం మరియు సగటు ఫోకల్ లెన్త్ పైన సమీకరణం అవుతుంది,$dv = v_R - v_V df = f_R - f_V v = v_Y f = f_Y$

$$\frac{v_R-v_V}{v_Y^2}=\frac{f_R-f_V}{f_Y^2}$$

కానీ సమీకరణం (6) నుండి, పై సమీకరణం అవుతుంది,$f_R - f_V = \omega f_Y$

$$\frac{v_R-v_V}{v_Y^2}=\frac{\omega f_Y}{f_Y^2}$$

లేదా

$$v_R-v_V=\frac{\omega}{f_Y}v_Y^2$$

ఆ విధంగా వస్తువును పరిమిత దూరం వద్ద ఉంచినప్పుడు రేఖాంశ క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్ లెన్స్ యొక్క విక్షేపణ శక్తికి అలాగే సగటు రంగు యొక్క ఇమేజ్ దూరానికి నేరుగా అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

4.10 అక్రోమాటిజం

కనిష్ట లేదా జీరో క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్ ఉన్న లెన్స్ సిస్టమ్ స్థితిని అక్రోమాటిజం అంటారు. అదే పొందే ప్రక్రియను అక్రోమటైజేషన్ అంటారు. దానిని సాధించే లెన్స్ కలయికను అక్రోమాటిక్ డబల్ట్ అంటారు.

రెండు లెన్స్‌లు కాంటాక్ట్‌లో ఉన్నప్పుడు:

ఫోకల్ లెంగ్త్‌లు f_1, f_2 ఉన్న రెండు లెన్స్‌లు మరియు కాంటాక్ట్‌లో ఉన్నప్పుడు, ఫలితంగా ఫోకల్ లెంగ్త్ F ఇవ్వబడుతుంది

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}\quad ---(1)$$

ఆక్రోమాటిజం అనేది ఇన్సిడెంట్ లైట్ యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం యొక్క మార్పులో సిస్టమ్ యొక్క ఫలిత ఫోకల్ లెన్త్ మార్పులేని స్థితి.

ఈ విధంగా

$$d\left(\frac{1}{F}\right)=0\ \Rightarrow d\left(\frac{1}{f_1}\right)+d\left(\frac{1}{f_2}\right)=0\quad ---(2)$$

Consider the case when the object is placed at a fixed distance u and the image corresponding to different colors is formed at different distances. Then upon differentiation, one obtains

$$-\frac{1}{v^2}dv - 0 = -\frac{1}{f^2}df$$

Substituting $dv = v_R - v_V$, $df = f_R - f_V$, mean velocity $v = v_Y$ and mean focal length $f = f_Y$ the above equation becomes,

$$\frac{v_R - v_V}{v_Y^2} = \frac{f_R - f_V}{f_Y^2}$$

But since $f_R - f_V = \omega f_Y$ from equation (6), the above equation becomes,

$$\frac{v_R - v_V}{v_Y^2} = \frac{\omega f_Y}{f_Y^2}$$

or

$$v_R - v_V = \frac{\omega}{f_Y} v_Y^2$$

Thus the longitudinal chromatic aberration when the object is placed at finite distance is directly proportional both to the dispersive power of the lens as well as the image distance of the mean color.

4.10 Achromatism

The state of a lens system with minimal or zero chromatic aberration is called achromatism. The process of obtaining the same is called achromatization. The lens combination that achieves it is called achromatic doublet.

When two lenses are in contact:

When two lenses with focal lengths f_1 and f_2 are in contact, the resultant focal length F is given by

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad --- (1)$$

లెన్స్ మేకర్ ఫార్ములా నుండి మేము కలిగి ఉన్నాము

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (3)$$

భేదం తరువాత, ఒకరు పొందుతారు

$$d\left(\frac{1}{f}\right) = d\mu\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (4)$$

Eq.(4)ని Eq.(3)తో భాగిస్తే, ఫలితాన్ని క్రింద ఇచ్చిన విధంగా డిస్పర్సివ్ పవర్ పరంగా వ్యక్తీకరించవచ్చు.

$$d\left(\frac{1}{f}\right) = \frac{d\mu}{\mu - 1}\frac{1}{f} = \frac{\omega}{f} \quad --- (5)$$

Eqని ప్రత్యామ్నాయం చేస్తోంది. (5) Eq. (2) ఇస్తుంది,

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = 0 \quad --- (6)$$

సమానంగా,

$$f_1 = -\frac{\omega_1}{\omega_2} f_2 \quad --- (7)$$

ఈ సమీకరణం రెండు లెన్స్‌ల ఫోకల్ లెంగ్త్‌లు వ్యతిరేక సంకేతాలను కలిగి ఉన్నాయని చూపిస్తుంది. అనగా; లెన్స్‌లలో ఒకటి కుంభాకారంగా ఉంటే, మరొకటి పుటాకారంగా ఉండాలి.
క్రోమాటిక్ అబెర్రేషన్‌ను తొలగించే ఈ లెన్స్‌ల కలయికను అక్రోమాటిక్ డబల్ట్ అంటారు.

రెండు లెన్స్‌లు దూరం ద్వారా వేరు చేయబడినప్పుడు:

రెండు లెన్సులు యొక్క ఫోకల్ లెంగ్త్ f_1మరియు f_2 దూరం d ద్వారా వేరు చేయబడినప్పుడు, ఫలిత ఫోకల్ లెన్త్ F దీని ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2} \quad --- (8)$$

ఫలిత ఫోకల్ లెన్త్ కాంతి మూలం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యంలోని వైవిధ్యాల నుండి స్వతంత్రంగా ఉండాలంటే, $d(1/F)$ తప్పనిసరిగా సున్నాకి సమానంగా ఉండాలి.

ఈ విధంగా

$$d\left(\frac{1}{F}\right) = d\left(\frac{1}{f_1}\right) + d\left(\frac{1}{f_2}\right) - \frac{d}{f_1} d\left(\frac{1}{f_2}\right) - \frac{d}{f_2}\, d\left(\frac{1}{f_1}\right) = 0 \quad --- (9)$$

మేము దానిని పొందాము. అందువలన Eq. (9) అవుతుంది$d(1/f) = \omega/f$

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} - \frac{d}{f_1}\frac{\omega_2}{f_2} - \frac{d}{f_1}\frac{\omega_1}{f_1} = 0 --- (10)$$

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = \frac{d(\omega_1 + \omega_2)}{f_1 f_2} \Rightarrow \omega_1 f_2 + \omega_2 f_1 = d(\omega_1 + \omega_2)$$

లేదా

$$d = \frac{\omega_1 f_2 + \omega_2 f_1}{\omega_1 + \omega_2} \quad --- (11)$$

Achromatism is the condition where the resultant focal length of the system is invariant under change of wavelength of incident light.

Thus

$$d\left(\frac{1}{F}\right) = 0 \Rightarrow d\left(\frac{1}{f_1}\right) + d\left(\frac{1}{f_2}\right) = 0 \quad --- (2)$$

From lens maker's formula we have

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (3)$$

Upon differentiation, one obtains

$$d\left(\frac{1}{f}\right) = d\mu\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad --- (4)$$

Dividing Eq.(4) by Eq.(3), the result can be expressed in terms of the dispersive power as given below.

$$d\left(\frac{1}{f}\right) = \frac{d\mu}{\mu - 1}\frac{1}{f} = \frac{\omega}{f} \quad --- (5)$$

Substituting Eq. (5) into Eq. (2) gives,

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = 0 \quad --- (6)$$

Equivalently,

$$f_1 = -\frac{\omega_1}{\omega_2} f_2 \quad --- (7)$$

This equation shows that the focal lengths of both the lenses are of opposite sign. i.e.; if one of the lenses is convex, then the other one must be concave.

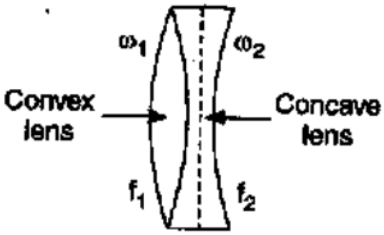


Fig: Achromatic doublet.

ఇంకా, రెండు లెన్స్‌లు ఒకే పదార్థంతో తయారు చేయబడినట్లయితే, అప్పుడు

$$d = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad --- (12)$$

ఆక్రోమాటిజం పొందేందుకు రెండు లెన్స్‌లను వాటి ఫోకల్ లెంగ్త్‌ల సగటుకు సమానమైన దూరంతో వేరు చేయాలి.

4.11 ఆప్టికల్ ఫైబర్స్ పరిచయం

ఫైబర్ ఆప్టిక్స్ అనే పదాన్ని భారతీయ-అమెరికన్ భౌతిక శాస్త్రవేత్త నరిందర్ సింగ్ కపానీ రూపొందించారు. అతను ఫైబర్ ఆప్టిక్స్ యొక్క తండ్రిగా పరిగణించబడ్డాడు. అతని నోబెల్ బహుమతికి అర్హమైన ఆవిష్కరణ కోసం ఫోర్బ్స్ చేత 20వ శతాబ్దపు 7 పాడని హీరోలలో ఒకరిగా ఆయన పేరు పెట్టారు. అతనికి 2021లో మరణానంతరం భారతదేశం యొక్క రెండవ అత్యున్నత పౌర పురస్కారం పద్మవిభూషణ్ లభించింది.

ఆప్టికల్ ఫైబర్ అనేది గ్లాస్ లేదా ప్లాస్టిక్ మెటీరియల్ యొక్క పలుచని స్ట్రాండ్, ఇది కాంతిని దాని తీవ్రతలో ఎక్కువ నష్టం లేకుండా దాని మూలం నుండి గమ్యస్థానానికి తీసుకువెళుతుంది.

సూత్రం

ఆప్టికల్ ఫైబర్ మొత్తం అంతర్గత రిఫ్లెక్షన్ యొక్క సూత్రంపై పనిచేస్తుంది; అనగా, కాంతి ఒక దట్టమైన మాధ్యమం (అధిక వక్రీభవన గుణకం మాధ్యమం) నుండి అరుదైన మాధ్యమానికి (తక్కువ వక్రీభవన గుణకం మాధ్యమం) ప్రయాణించినప్పుడు మరియు పతన కోణం క్లిష్టమైన కోణం కంటే ఎక్కువగా ఉంటే, కాంతి పూర్తిగా అంతర్గతంగా దట్టమైన మాధ్యమంలో ప్రతిబింబిస్తుంది.

ఆప్టికల్ ఫైబర్ యొక్క నిర్మాణం

ఆప్టికల్ ఫైబర్ విద్యుద్వాహక పదార్థం యొక్క రెండు కేంద్రీకృత స్థూపాకార పొరలను కలిగి ఉంటుంది, అవి కోర్ మరియు క్లాడింగ్ తరువాత రక్షణ పొరను కలిగి ఉంటాయి.

కోర్:ఇది కాంతి ప్రసారం చేసే అధిక వక్రీభవన గుణకం పదార్థం. ఇది గాజు లేదా ప్లాస్టిక్ లేదా రెండింటి మిశ్రమంతో తయారు చేయబడింది. సింగిల్ మోడ్ ఫైబర్‌లు కోర్ వ్యాసం $5 - 10\mu m$ కలిగి ఉంటాయి. మల్టీమోడ్ ఫైబర్‌లు సాధారణ వ్యాసం $50\mu m, 62.5\mu m$ మరియు$100\mu m$. కొన్ని మల్టీమోడ్ ఫైబర్‌లు కోర్ వ్యాసం $1000\mu m$ అంత పెద్దవిగా ఉంటాయి.

క్లాడింగ్:ఇది తక్కువ వక్రీభవన గుణకం పదార్థం, ఇది ప్రధాన పదార్థాన్ని కవర్ చేస్తుంది మరియు మొత్తం అంతర్గత పరావర్తనాన్ని నిర్ధారిస్తుంది. ఇది గాజు లేదా ప్లాస్టిక్ లేదా రెండింటి మిశ్రమంతో కూడా తయారు చేయబడింది. లంబం గా క్లాడింగ్ వ్యాసం సుమారు $125\mu m$ ప్రామాణిక పరిమాణాన్ని కలిగి ఉంటుంది.

రక్షణ పొర:చుట్టుపక్కల పర్యావరణ ప్రభావాల నుండి రక్షించడానికి మొత్తం కోర్ మరియు క్లాడింగ్ నిర్మాణం రబ్బరు లేదా పాలిమర్ పదార్థంతో కప్పబడి ఉంటుంది. $250\mu m - 1000\mu m$ నుండి రక్షణ పొర వ్యాసం పరిధులు.

This combination of lenses that eliminates the chromatic aberration is called achromatic doublet.

When two lenses are separated by a distance:

When two lenses of focal lengths f_1 and f_2 are separated by a distance d, the resultant focal length F is given by

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2} \quad --- (8)$$

For the resultant focal length to be independent of variations in wavelength of the light source, $d(1/F)$ must be equal to zero.

Thus

$$d\left(\frac{1}{F}\right) = d\left(\frac{1}{f_1}\right) + d\left(\frac{1}{f_2}\right) - \frac{d}{f_1} d\left(\frac{1}{f_2}\right) - \frac{d}{f_2}\, d\left(\frac{1}{f_1}\right) = 0 \quad --- (9)$$

We have obtained that $d(1/f) = \omega/f$. Thus Eq. (9) becomes

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} - \frac{d}{f_1}\frac{\omega_2}{f_2} - \frac{d}{f_1}\frac{\omega_1}{f_1} = 0 --- (10)$$

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = \frac{d(\omega_1 + \omega_2)}{f_1 f_2} \Rightarrow \omega_1 f_2 + \omega_2 f_1 = d(\omega_1 + \omega_2)$$

or

$$d = \frac{\omega_1 f_2 + \omega_2 f_1}{\omega_1 + \omega_2} \quad --- (11)$$

Further, if both the lenses are made of the same material, then

$$d = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad --- (12)$$

Thus the two lenses must be separated by a distance equal to the average of their focal lengths to obtain achromatism.

4.11 Introduction to Optical fibers

The term fiber optics was coined by Indian-American physicist Narinder Singh Kapany. He was considered as the father of fiber optics. He was named as one of the 7 unsung heros of 20th century by Forbes for his Nobel prize deserving invention. He was awarded

second highest civilian award of India, Padma Vibhushan posthumously in 2021.

An Optical fiber is a thin strand of glass or plastic material that carries light from its source to destination without much loss in its intensity.

Principle

Optical fiber works on the principle of total internal reflection; i.e., when light travels from a denser medium (high refractive index medium) to a rarer medium (low refractive index medium) and if the angle of incidence is more than critical angle, light will be totally internally reflected into the denser medium.

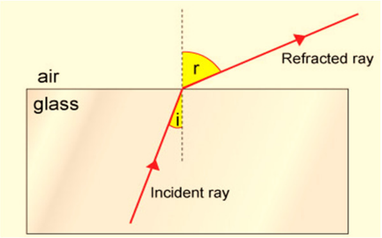


Fig a. Propagation of light from denser to rarer medium i<c.

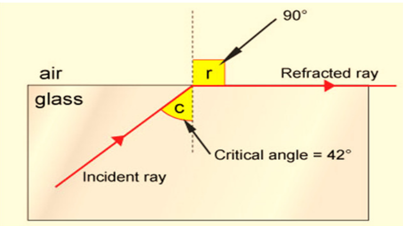


Fig b. Angle of i = c, critical condition denser medium to rarer

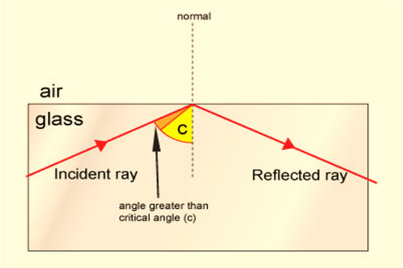


Fig c. Total internal reflection when i>c.

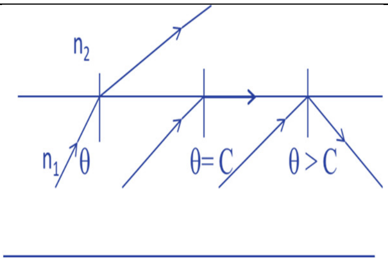


Fig: Optical fiber working principle

Structure of Optical fiber

Optical fiber consists of two concentric cylindrical layers of dielectric material namely core and cladding followed by a protection layer.

Core: it is a high refractive index material in which the light transmits. It is made up of glass or plastic or a mixture of both. Single

mode fibers have core diameter of $5 - 10\mu m$. Multimode fibers have typical diameter of $50\mu m, 62.5\mu m$ and $100\mu m$. Some multimode fibers do have a core diameter as large as $1000\mu m$.

Cladding: it is a low refractive index material which covers the core material and ensures total internal reflection. It is also made up of glass or plastic or mixture of both. Generally the cladding diameter has a standard size of about $125\mu m$.

Protecting layer: the entire core and cladding structure is covered with rubber or polymer material to protect it from surrounding environmental effects. Protective layer diameter ranges from $250\mu m - 1000\mu m$.

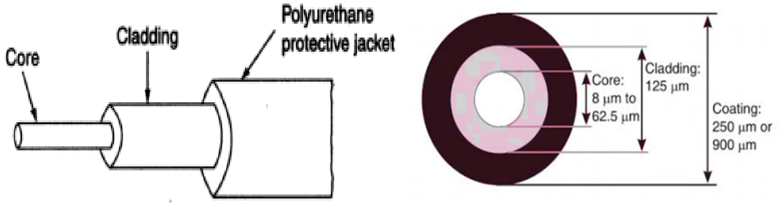


Fig: Structutre of Optical fiber.

https://amadaweldtech.com/wp-content/uploads/2019/02/MBR.pdf

4.12 Types of Optical fibers

The optical fibers are classified based on the following three criteria. 1. Based on the material used. 2. Based on the refractive index profile of core. 3. Based on the number of modes the fiber allows.

4.12 ఆప్టికల్ ఫైబర్స్ రకాలు

ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లు క్రింది మూడు ప్రమాణాల ఆధారంగా వర్గీకరించబడ్డాయి. 1. ఉపయోగించిన పదార్థం ఆధారంగా. 2. కోర్ యొక్క వక్రీభవన గుణకం ప్రొఫైల్ ఆధారంగా. 3. ఫైబర్ అనుమతించే మోడ్‌ల సంఖ్య ఆధారంగా.

ఉపయోగించిన పదార్థం ఆధారంగా:

కోర్ మరియు క్లాడింగ్ యొక్క పదార్థంపై ఆధారపడి, ఆప్టికల్ ఫైబర్స్ రెండు వర్గాలుగా వర్గీకరించబడ్డాయి. గాజు మరియు ప్లాస్టిక్. ఇది గాజుతో తయారు చేయబడినట్లయితే (SiO2), GeO2 కూడా దాని వక్రీభవన గుణకం ను పెంచడానికి కోర్కి జోడించబడుతుంది. ఆ సందర్భంలో, కోర్ స్వచ్ఛమైన SiO2 ఉంటుంది. ఇది ప్లాస్టిక్‌తో తయారు చేయబడినట్లయితే, అవసరమైన వక్రీభవన గుణకం వ్యత్యాసాన్ని నిర్వహించడానికి సరైన పదార్థాలు ఎంపిక చేయబడతాయి. గ్లాస్ ఫైబర్‌లు ఖరీదైనవి, తయారు చేయడం కష్టం కానీ అధిక .రొద ప్రూఫ్ మరియు నష్టం లేనివి. అయితే, ప్లాస్టిక్ ఫైబర్‌లు తయారు చేయడం సులభం, చౌకైనప్పటికీ అధిక .రొద మరియు సమాచారాన్ని ప్రసారం చేయడానికి నష్టపోయే ఛానెల్‌లు.

మోడ్‌ల సంఖ్య ఆధారంగా:

తరంగదైర్ఘ్యాల మోడ్‌ల సంఖ్యపై ఆధారపడి, కేబుల్ అనుమతిస్తుంది, ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లు రెండుగా వర్గీకరించబడతాయి: సింగిల్ మోడ్ మరియు మల్టీ మోడ్.

సింగిల్ మోడ్ ఫైబర్ ఒక తరంగదైర్ఘ్యాన్ని మాత్రమే అనుమతిస్తుంది, అయితే మల్టీమోడ్ ఫైబర్ ఒకటి కంటే ఎక్కువ కాంతి తరంగదైర్ఘ్యాలను ప్రయాణించేలా చేస్తుంది.

సింగిల్ మోడ్ ఫైబర్ యొక్క కోర్ ఇరుకైనది, అయితే మల్టీమోడ్ ఫైబర్ కోసం ఇది వెడల్పుగా ఉంటుంది.

సింగిల్ మోడ్ ఫైబర్‌లో .రొద స్థాయిలు మరియు నష్టాలు చాలా తక్కువగా ఉంటాయి, ఇక్కడ బహుళ తరంగదైర్ఘ్యాల ఉనికి కారణంగా మల్టీమోడ్ ఫైబర్‌లో అవి చాలా ఎక్కువగా ఉంటాయి.

సింగిల్ మోడ్ ఫైబర్‌లు ఎక్కువ నష్టం లేకుండా కొన్ని కిలోమీటర్ల వరకు సమాచారాన్ని ప్రసారం చేయగలవు, అయితే మల్టీమోడ్ ఫైబర్‌లు ఎక్కువ సమాచారం కోల్పోకుండా కొన్ని మీటర్లు మాత్రమే ప్రసారం చేయగలవు.

సింగిల్ మోడ్ ఫైబర్‌లు సుదూర కమ్యూనికేషన్ ఛానెల్‌ల కోసం ఉపయోగించబడతాయి, అయితే మల్టీమోడ్ ఫైబర్‌లు LAN (లోకల్ ఏరియా నెట్‌వర్క్) కమ్యూనికేషన్ కోసం ఉపయోగించబడతాయి

మల్టీమోడ్ స్టెప్ ఇండెక్స్ ఫైబర్ విషయంలో, అన్ని తరంగాలు కోర్ మరియు క్లాడింగ్ సరిహద్దులో ప్రతిబింబిస్తాయి కానీ వేర్వేరు ప్రదేశాలలో లేదా పతనల యొక్క విభిన్న కోణాల్లో ప్రతిబింబిస్తాయి. మల్టీమోడ్ గ్రేడెడ్ ఇండెక్స్ ఫైబర్‌లో, వివిధ మోడ్‌లు స్పైరల్ పాత్‌లలో కోర్ మధ్య నుండి వేర్వేరు దూరాల్లో ప్రతిబింబిస్తాయి.

Based on material used:

Depending on the material of core and cladding, optical fibers are classified into two categories. Glass and plastic. If it is made of glass (SiO_2), GeO_2 also will be added to the core to increase its refractive index. In that case, core will be of pure SiO_2. If it is made up of plastic, proper materials are chosen to maintain the required refractive index difference. Glass fibers are costly, difficult to manufacture but are highly noise proof and lossless. Whereas, plastic fibers are easy to manufacture, cheap but highly noisy and lossy channels to transmit information.

Based on number of modes:

Depending on the number of modes of wavelengths, the cable allows, the optical fibers are classified into two: Single mode and multi mode.

Single mode fiber allows only one wavelength, whereas multimode fiber allows more than one wavelength of light to travel.

The core of single mode fiber is narrow, whereas for multimode fiber it is wider.

Noise levels and losses are very low in single mode fiber where as they are very high in the multimode fiber due to the presence of multiple wavelengths.

Single mode fibers can transmit information up to a few kilometers without much loss, whereas multimode fibers could transmit only a few meters without much loss of information.

Single mode fibers are used for long distance communication channels, whereas multimode fibers are used for LAN (local area network) communication.

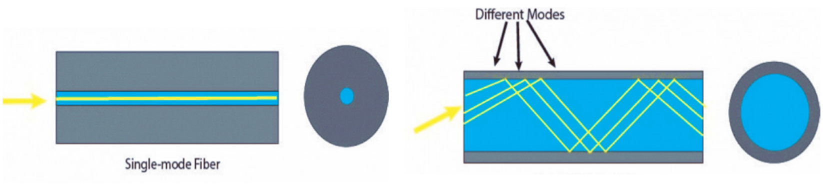


Fig: Single mode, multimode optical fibers.

4.13 ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లలో కిరణాలు మరియు మోడ్‌లు

స్టెప్ ఇండెక్స్ ఫైబర్ విషయంలో, విభిన్న మోడ్‌లు వేర్వేరు వేగాలతో ప్రయాణిస్తాయి, ఇది ఇంటర్-మోడల్ డిస్పర్షన్‌కు దారితీస్తుంది. అయితే గ్రేడెడ్ ఇండెక్స్ ఫైబర్‌లో అన్ని మోడ్‌లు ఒకే సరళ వేగంతో ప్రయాణిస్తాయి.

స్టెప్ ఇండెక్స్ ఫైబర్‌ల విషయంలో, వివిధ మోడ్‌ల మధ్య వేగ వ్యత్యాసాల కారణంగా .రొద స్థాయిలు ఎక్కువగా ఉంటాయి. దీనికి విరుద్ధంగా, గ్రేడెడ్ ఇండెక్స్ ఫైబర్‌లో, అన్ని మోడ్‌లు ఒకే వేగంతో ప్రయాణిస్తాయి కాబట్టి .రొద స్థాయిలు తక్కువగా ఉంటాయి.

4.13 ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లలో కిరణాలు మరియు మోడ్‌లు

కోర్ యొక్క వ్యాసం చాలా చిన్నగా ఉన్నప్పుడు, క్లాడింగ్ ఇంటర్‌ఫేస్‌పై ఎలాంటి ప్రతిబింబాలు లేకుండా కోర్ అంతటా ఒక వేవ్ మాత్రమే ప్రయాణించగలదు. ఆ సందర్భంలో లాంచింగ్ కోణం సున్నా. కోర్ తగినంత పెద్ద వ్యాసం కలిగి ఉంటే, అప్పుడు కిరణాలు సున్నా డిగ్రీల కంటే ఇతర వద్ద కూడా ప్రారంభించబడవచ్చు. అప్పుడు కిరణాలు ఇతర చివరను చేరుకోవడానికి బహుళ మొత్తం అంతర్గత ప్రతిబింబాలను ఎదుర్కొంటాయి. అలాంటప్పుడు, సున్నా మరియు గరిష్ట లాంచింగ్ కోణాల మధ్య, ప్రతి అంతర్గత రిఫ్లెక్షన్ కోసం నిర్మాణాత్మక జోక్యానికి పాత్‌లెంగ్త్ షరతును సంతృప్తిపరిచే తరంగదైర్ఘ్యంపై ఆధారపడి నిర్దిష్ట లాంచింగ్ కోణాలు మాత్రమే అనుమతించబడతాయి. అందువల్ల ఒకే తరంగదైర్ఘ్యం కలిగిన తరంగాలను వేర్వేరు ప్రయోగ కోణాల్లో లేదా వేర్వేరు ప్రయోగ కోణాల్లో వేర్వేరు తరంగదైర్ఘ్య తరంగాలను ప్రయోగించవచ్చు.

ఆప్టికల్ ఫైబర్ వెంట కాంతి ప్రసారం సమయంలో, కాంతి యొక్క విద్యుత్ క్షేత్రం ప్రసార తలం లో లేదా ప్రసార సమతలానికి లంబంగా ఉండవచ్చు. వాటికి వరుసగా TM (ట్రాన్స్‌వర్స్ మాగ్నెటిక్) మరియు TE (ట్రాన్స్‌వర్స్ ఎలక్ట్రిక్) మోడ్‌లుగా పేరు పెట్టారు. కొన్ని సార్లు TE మరియు TM మోడ్‌ల కలయిక ఉండవచ్చు. వాటిని హైబ్రిడ్ ఎలక్ట్రిక్ మాగ్నెటిక్ మోడ్స్ (HEM) అంటారు. రెండు ఎలక్ట్రిక్ (E) లేదా అయస్కాంత (H) ఫీల్డ్‌లలో ఏది ప్రబలంగా ఉందో బట్టి వాటికి HE మరియు EH మోడ్‌లుగా పేరు పెట్టారు. ఈ అనేక సంజ్ఞామానాలకు బదులుగా, అవి కేవలం LP (లీనియర్లీ పోలరైజ్డ్) మోడ్‌లుగా సూచించబడతాయి.

ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లు స్థూపాకారంగా ఉన్నందున, కాంతి పుంజం క్రాస్-సెక్షన్ వృత్తాకార సమరూపతను కలిగి ఉంటుంది. అందువల్ల వాటిని l, m సిరీస్‌లో లెక్కించడం మరింత సౌకర్యవంతంగా ఉంటుంది. ఇక్కడ m పుంజం విడిపోయే కేంద్రీకృత వృత్తాల సంఖ్యను సూచిస్తుంది మరియు l ఆ సర్కిల్‌లకు చేసిన సెక్టోరియల్ ఇన్‌సిషన్‌ల సంఖ్యను సూచిస్తుంది. దిగువ చిత్రం ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లలో ఉత్పత్తి చేయబడిన LP_{lm} నమూనా మోడ్‌లను సూచిస్తుంది. ఉదాహరణకు LP_{32} మోడ్‌లో మూడు సెక్టోరియల్ ఇన్‌సిషన్‌లతో రెండు సర్కిల్‌లు ఉంటాయి.

Based on refractiveindex profile of core:

Depending on the refractive index of core material, optical fibers are classified into two. Step index and graded index.

In step index fiber, refractive index remains constant throughout the core and drops suddenly at the core cladding boundary. In graded index fiber, refractive index reduces gradually from the centre of the core towards the cladding.

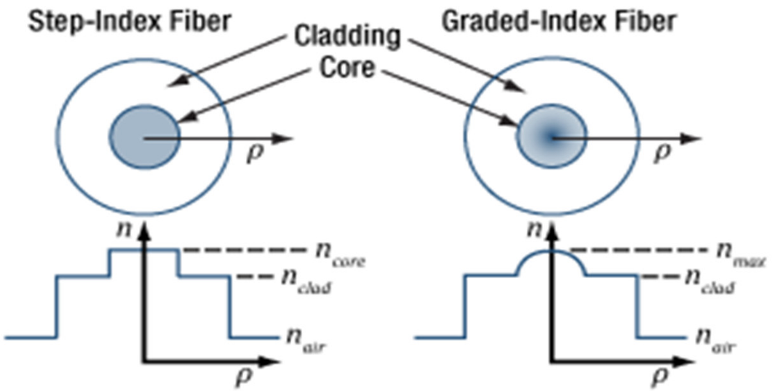


Fig: Step index and graded index optical fibers.

In the case of multimode step index fiber, all waves will get reflected at the core and cladding boundary but at different locations or different angles of incidence. In multimode graded index fiber, different modes will reflect at different distances from the center of the core in spiral paths.

In the case of step index fiber, different modes will travel with different velocities, which leads to inter-modal dispersion. Whereas in graded index fiber all modes will travel with same linear velocity.

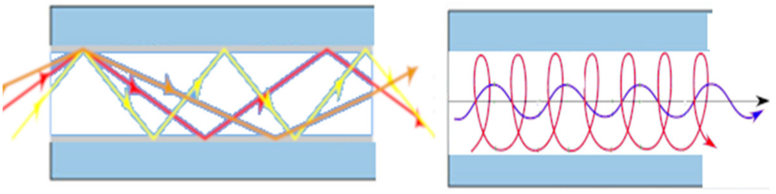


Fig: Multimode step index fiber, multimode graded index fiber.

In the case of step index fibers, noise levels are high due to velocity differences between different modes. In contrast, in graded index fiber, noise levels are less as all modes will travel with the same velocity.

4.13 Rays and Modes in optical fibers

When the diameter of core is very small, only one wave will be able to travel across the core without any reflections on the cladding interface. In that case the launching angle is zero. If the core has sufficiently larger diameter, then rays may be launched at other than zero degrees as well. Then the rays will suffer multiple total internal reflections to reach the other end. In that case, between zero and maximum possible launching angles, only specific launching angles are allowed depending on the wavelength which satisfies the pathlength condition for constructive interference for each internal reflection. Thus one can launch waves of the same wavelength at different launching angles or different wavelength waves at different launching angles. The one that travels along the axis of the fiber is called the zeroth order mode and the others with rising launching angle are denoted with higher order serial numbers.

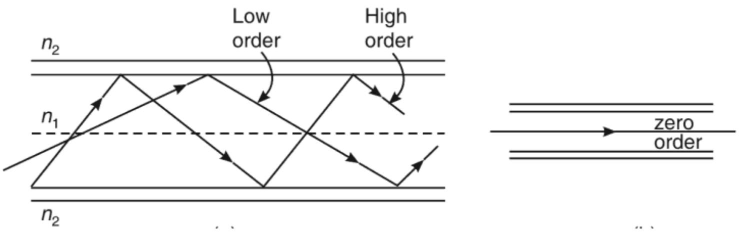


Fig: Modes in Optical fiber.

During the transmission of light along the optical fiber, electric field of light may be in the plane of transmission or perpendicular to the plane of transmission. They are named as TM (Transverse Magnetic) and TE (Transverse Electric) modes respectively. Some times there may be a combination of TE and TM modes. They are called Hybrid electric magnetic modes (HEM). They are named as HE and EH modes depending on which of the two electric (E) or magnetic (H)

fields is dominant. Instead of these many notations, they are simply denoted as LP (Linearly Polarized) modes.

Since the optical fibers are cylindrical, the light beam cross-section will have circular symmetry. Hence it is more convenient to number them in l, m series. Here m denotes the number of concentric circles the the beam splits into and l denotes the number of sectorial insitions made to those circles. The picture below denotes the sample LP_{lm} modes produced in optical fibers. For example LP_{32} mode will have two circles with three sectorial insitions.

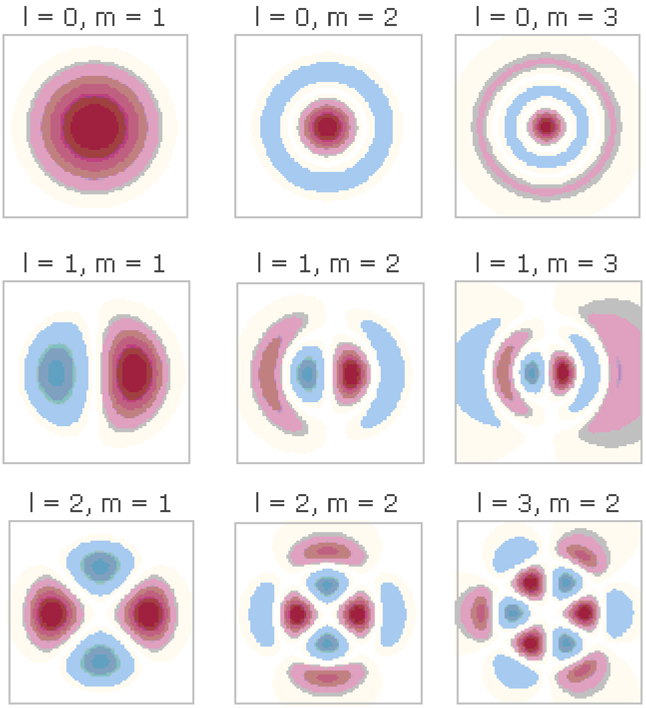


Fig: Linearly Polarized (LP_{lm}) modes of light in optical fibers.

https://www.rp-photonics.com/modes.html

https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/lasers/laser-resonator-modes/

4.14 ఫైబర్ ఆప్టిక్ కమ్యూనికేషన్ సిస్టమ్

ఆప్టికల్ ఫైబర్ కమ్యూనికేషన్ సిస్టమ్ తప్పనిసరిగా మూడు భాగాలను కలిగి ఉంటుంది, అవి,

(ఎ) ట్రాన్స్‌మిటర్ (బి) రిపీటర్ మరియు (సి) రిసీవర్.

ట్రాన్స్‌మిటర్‌లో మాడ్యులేటర్, ఎన్‌కోడర్, లైట్ సోర్స్, డ్రైవ్ సర్క్యూట్‌లు మరియు కప్లర్‌లు ఉంటాయి. సరళంగా చెప్పాలంటే, ఫైబర్ ఆప్టిక్ సిస్టమ్ ఒక ఎలక్ట్రికల్ సిగ్నల్‌ను ఎన్‌కోడర్ ద్వారా బైనరీ డేటాగా మారుస్తుంది.

ట్రాన్స్మిటర్:ట్రాన్స్‌మిటర్‌లో డీకోడర్ అని పిలువబడే డిజిటల్ (A/D) కన్వర్టర్‌కు అనలాగ్ మరియు కాంతి మూలం ఉంటాయి. A/D కన్వర్టర్ అనేది వాయిస్ లేదా వీడియో (TV) సిగ్నల్‌ల వంటి నిరంతర అనలాగ్ సిగ్నల్‌లను డిజిటల్ పల్స్‌ల శ్రేణిగా మార్చడానికి ఉపయోగించబడుతుంది. ఈ బైనరీ డేటా ఎలక్ట్రికల్ పల్స్ యొక్క స్ట్రీమ్‌గా వస్తుంది మరియు ఈ పల్స్‌లు మాడ్యులేటింగ్ లైట్ సోర్స్ ద్వారా ఆప్టికల్ పవర్ యొక్క పల్స్‌లుగా మార్చబడతాయి. కాంతి మూలం ఒక కాంతి-ఉద్గార డయోడ్ (LED) లేదా ఒక ఇంజెక్షన్ లేజర్ డయోడ్ (ILD). అప్పుడు, డ్రైవ్ సర్క్యూట్ నేరుగా ఎన్కోడ్ చేయబడిన డిజిటల్ సిగ్నల్‌తో కాంతి తీవ్రతను మాడ్యులేట్ చేస్తుంది. ఈ డిజిటల్ ఆప్టికల్ సిగ్నల్ ఆప్టికల్ ఫైబర్ కేబుల్‌లోకి ప్రారంభించబడింది. కాంతి-పుంజం పల్సు కప్లర్‌లను ఉపయోగించి ఫైబర్-ఆప్టిక్ కేబుల్‌లోకి మృదువుగా ఉంటాయి, అక్కడ అవి చాలా దూరం వరకు ప్రసారం చేయబడతాయి.

రిపీటర్: రిపీటర్లుసిగ్నల్ బలాన్ని కొనసాగించడానికి ఆప్టికల్ ఫైబర్ సిస్టమ్‌లో నిర్దిష్ట దూరం తర్వాత ఉపయోగించబడతాయి. మునుపటి వ్యవస్థలలో, రిపీటర్ దశ ఆప్టికల్ సిగ్నల్‌ను ఎలక్ట్రిక్ సిగ్నల్‌గా మార్చడం, దానిని పెంచడం మరియు ఎలక్ట్రికల్ సిగ్నల్‌ను ఆప్టికల్ సిగ్నల్‌గా మార్చడం. ఇది చాలా శక్తి డిమాండ్ ప్రక్రియ. దాని కోసం అభివృద్ధి చేయబడిన ఆధునిక ప్రత్యామ్నాయం ప్రత్యక్ష ఆప్టికల్ యాంప్లిఫికేషన్‌ను కలిగి ఉంటుంది. తక్కువ తరంగదైర్ఘ్యం మరియు అధిక శక్తి లేజర్‌ను పంపింగ్ లేజర్‌గా ఉపయోగించడం మరియు ఎర్బియం రకమైన అరుదైన భూమి పదార్థాలతో ఫైబర్‌ను డోపింగ్ చేయడం ద్వారా ఇది సాధించబడుతుంది. వేవ్‌లెంగ్త్ డివిజన్ మల్టీప్లెక్సింగ్ (WDM) ద్వారా ఉత్పన్నమయ్యే సంక్లిష్ట సంకేతాలను నిర్వహించడానికి ఇది అత్యంత అనుకూలమైన పద్ధతి. చివరగా, ఆప్టికల్ ఫైబర్ చివరిలో, సిగ్నల్ రిసీవర్‌కు అందించబడుతుంది.

రిసీవర్:రిసీవర్‌లో లైట్ డిటెక్టర్ లేదా ఫోటోసెల్ మరియు డీకోడర్ ఉంటాయి. లైట్ డిటెక్టర్ చాలా తరచుగా PIN (p-type-intrinsic-n-type) డయోడ్ లేదా APD (అవాలాంచ్ ఫోటోడియోడ్) గా ఉంటుంది. లైట్ డిటెక్టర్, స్వీకరించే మూలకం వలె పనిచేస్తుంది, అందుకున్న కాంతి పల్సను తిరిగి విద్యుత్ ప్రవాహం యొక్క పల్సుగా మారుస్తుంది. ఎలక్ట్రికల్ ప్లస్‌లు విస్తరించబడ్డాయి మరియు తిరిగి డిజిటల్ రూపంలోకి మార్చబడతాయి, ఇవి D/A కన్వర్టర్ (డిజిటల్ నుండి అనలాగ్ కన్వర్టర్) వంటి డీకోడర్‌కు అందించబడతాయి, ఇక్కడ అసలు వాయిస్ లేదా వీడియో పునరుద్ధరించబడుతుంది.

4.14 Fiber Optic communication system

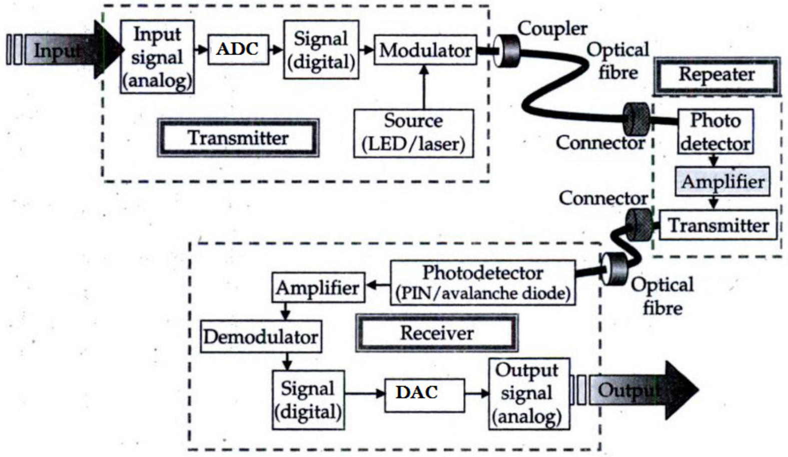


Fig: Optical fiber communication system.

Optical fiber communication system essentially consists of three parts namely,

(a) Transmitter (b) Repeater and (c) Receiver.

The Transmitter includes modulator, encoder, light source, drive circuits and couplers. Simply put, the fiber optic system converts an electrical signal into binary data by an encoder.

Transmitter: The transmitter consists of an analog to digital (A/D) converter called a decoder, and a light source. The A/D converter is used to convert continuous analog signals such as voice or video (TV) signals into a series of digital pulses. This binary data comes out as a stream of electrical pulses and these pulses are converted into pulses of optical power, by the modulating light source. The light source is either a light-emitting diode (LED) or an injection laser diode (ILD). Then, the drive circuit directly modulates the intensity of the light with the encoded digital signal. This digital optical signal is launched into the optical fiber cable. The light-beam pulses are then fed into a fiber-optic cable using couplers, where they are transmitted over long distances.

Repeater: Repeaters are used after certain distance in the optical fiber system to keep up the signal strength. In earlier systems the repeater stage consisted of a conversion of optical signal into electric signal, followed by boosting it and then conversion of

4.15 ఫైబర్ ఆప్టిక్ కమ్యూనికేషన్ యొక్క ప్రయోజనాలు

1. అత్యంత విస్తృత బ్యాండ్ వెడల్పు - 1mm OFC కేబుల్ ద్వారా దాదాపు 50,000 కాల్‌లను ప్రసారం చేయవచ్చు.
2. OFC సిస్టమ్‌లు పరిమాణంలో చిన్నవి, బరువులో తేలికైనవి మరియు సౌకర్యవంతమైన ఇంకా బలంగా ఉంటాయి.
3. సమాంతర ఫైబర్స్ మధ్య ఎటువంటి క్రాస్ టాక్ ఉండదు.
4. OFC వ్యవస్థలు EMI (విద్యుదయస్కాంత జోక్యం) మరియు RFI (రేడియో ఫ్రీక్వెన్సీ జోక్యం) నుండి నిరోధక శక్తిని కలిగి ఉంటాయి.
5. అవి తక్కువ ఖర్చుతో సిగ్నల్‌లను అందించగల సామర్థ్యం కూడుకున్నవి.
6. OFC వ్యవస్థ అత్యంత సురక్షితమైన కమ్యూనికేషన్ వ్యవస్థ.
7. వారు యూనిట్ పొడవుకు తక్కువ నష్టాన్ని కలిగి ఉంటారు. రాగి కేబుల్‌లకు ప్రతి 2 కిమీ వద్ద రిపీటర్లు అవసరం అయితే ప్రతి 100 కిమీ వద్ద OFC రిపీటర్‌లను ఇన్‌స్టాల్ చేయవచ్చు.
8. OFC వ్యవస్థలు ఉష్ణోగ్రత మరియు తుప్పుకు నిరోధకతను కలిగి ఉంటాయి. కఠినమైన వాతావరణాలకు అనుకూలం.
9. అధిక వోల్టేజ్ లేదా మంటలను రేకెత్తించే పరికరాలను కలిగి లేనందున అవి ప్రమాదకరం కాదు.
10. అవి మరింత నమ్మదగినవి మరియు నిర్వహించడం సులభం.
11. OFC సిస్టమ్‌లలో ఉపయోగించే మెటీరియల్‌లలో ఎక్కువ భాగం పర్యావరణ అనుకూలమైనవి.

For Further reading:

An introduction to fiber optic systems by John P. Powers	
http://optdesign.narod.ru/book/Handbook_of_Optical_Design.pdf	
Handbook of Optical Systems Edited by Herbert Gross Vol. 3	

electrical signal into optical signal. This is highly energy demanding process. Modern alternative developed for it consists of direct optical amplification. This is achieved by using a lower wavelength and high power laser as pumping laser and doping the fiber with erbium kind of rare earth materials. This is most convenient method to handle the complex signals generated by Wavelength Division Multiplexing (WDM). Finally, at the end of the optical fiber, the signal is fed to the receiver.

Receiver: The receiver includes a light detector or photocell and a decoder. The light detector is very often either a PIN (p-type-intrinsic-n-type) diode or an APD (avalanche photodiode). The light detector, acting as the receiving element, converts the received light pulses back to pulses of electrical current. The electrical pluses are amplified and reshaped back into digital form that is fed to a decoder such as a D/A converter (digital to analog converter), where the original voice or video is recovered.

4.15 Advantages of Fiber optic communication

1. Extremely wide band width – Nearly 50,000 calls can be transmitted by 1mm OFC cable.
2. OFC systems are smaller in size, lighter in weight and flexible yet strong.
3. There will be no cross talk between parallel fibers.
4. OFC systems are immune to EMI (electromagnetic interference) and RFI (Radio frequency interference).
5. They are cost effective- potential of delivering signals at low cost.
6. OFC system is a highly secure communication system.
7. They have low loss per unit length. Copper cables need repeaters at each 2km whereas OFC repeaters can be installed at each 100km.
8. OFC systems are resistant to temperature and corrosion. Suitable to harsh environments.
9. They are not hazardous as they do not involve any high voltage or fire provoking equipment.
10. They are more reliable and easy to maintain.
11. Majority of the materials used in OFC systems are environmental friendly.

Solved Problems and Exercises

1. Find the longitudinal chromatic aberration in white light for a biconvex lens whose focal length for yellow light is 20cm and dispersive power is 0.068

Sol: For a lens , we have dispersive power $\omega = \frac{f_r - f_v}{f_y}$

Here f_r *and* f_v are focal lengths of red and violet colours ; f_y is the focal length of mean colour ie yellow colour

- Longitudinal chromatic aberration $f_r - f_v = \omega f_y = 0.068 \times 20 = 1.36\ cm$

2. Calculate the focal length of the lens with dispersive power 0.031 placed in contact with a convex lens of focal length 84cm and dispersive power 0.021 to make a achromatic doublet.

Sol: The condition for achromatism is $\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = 0 - (1)$

$$\frac{1}{f_2} = -\frac{\omega_1}{\omega_2 f_1} = -\frac{0.021}{0.031 \times 84} = -\frac{0.021}{2.604}$$

- $f_2 = -124cm$

3. Find the focal length of the concave lens of a convex-concave system which satisfies the conditions for minimum Astigmatc difference . The focal lengths of convex lense is 15cm and ratio of refractive indices of convex and concave are 1.5

Sol: We have the Condition for correction of astimatic difference is

$\frac{1}{n_1 f_1} + \frac{1}{n_2 f_2} = 0 - (1)$ Petzval condition

- $\frac{n_1}{n_2} = -\frac{f_2}{f_1}$ and given focal length of convex lens $f_1 = 15cm,$ $\frac{n_1}{n_2}$ =1.5
- From (1), focal length of concave lens $f_2 = -\frac{n_1}{n_2} \times f_1 = 1.5 \times 15 = 22.5cm$

4. Calculate dispersive powers of lenses of an achromatic doublet having focal length 20cm.Refractive indices of red and blue colours for first and second lenses are 1.522, 1.514 and 1.629, 1.612 respectively

Sol: Dispersive power of first lens is $\omega_1 = \frac{n_b - n_r}{n-1} = \frac{1.522-1.514}{1.518-1} = 0.0154$

where n is average of given two colours for first lens $n_1 = \frac{1.522+1.514}{2} = \frac{3.036}{2} = 1.518$

- Dispersive power of second lens is $\omega_2 = \frac{n_b' - n_r'}{n_2 - 1} = \frac{1.629-1.612}{1.621-1} = 0.0274$

where n is average of given two colours for second lens $n_1 = \frac{1.629+1.612}{2} = \frac{3.241}{2} = 1.621$

5. Find the separation between lenses of a doublet which satisfies the conditions for achromatism and minimum spherical aberration. The focal lengths of one of the lenses is10cm

Sol: We know that condition for achromatism is $t = \frac{f_1 + f_2}{2}$

And also condition for minimum spherical aberration is $t = f_1 - f_2$

- $f_1 - f_2 = \frac{f_1 + f_2}{2}$ => $f_1 = 3f_2$
- If $f_1 = 10cm\ \ then\ f_2 = 3.33cm \Rightarrow t = 6.67cm$
- If $f_2 = 10cm\ \ then\ f_1 = 30cm \Rightarrow t = 20cm$

6. To get free from chromatic aberration,a telescope objective is made with an achromatic doublet for the two colours of dispersive powers 0.0154 and 0.0242 respectively for two lenses of the doublet.Calculate focal lengths of two lenses for mean colour if the focal length of telescope objective s 100cm.

Sol : The condition for achromatism is $\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = 0 - (1)$

- $\frac{1}{f_2} = -\frac{\omega_1}{\omega_2 f_1} = -\frac{0.0154}{0.0242 f_1} = -\frac{0.6363}{f_1}$ ---(2)

and also we have $\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}$ ------(3)

- $\frac{1}{f_1} - \frac{0.0154}{0.0242 f_1} = \frac{1}{100}$ => $f_1 = 36.36cm$
- From (2), => $f_2 = -57.15cm$

7. Find the critical angle for the light ray incident on a glass-air interface .Refractive index of glass is 1.48

   Sol: We have the critical angle for light traveling in the glass is

$$\emptyset_c = \frac{n_2}{n_1} = sin^{-1} 0.676 = 42.5^0$$

8. An optical fiber has a core with a refractive index of 1.5 and a cladding with a refractive index of 1.4. Calculate the critical angle of the fiber.

   Sol: Acceptance angle = sin-1(n2 / n1)

   Substituting the values for n1 = 1.5 and n2 = 1.4,

   we can get,

   Critical angle = sin-1 (1.4 / 1.5)

   = sin-11 0.93 = 69o

9. An Optical fiber has a core material of refractive index 1.5 and the cladding material of refractive index 1.45 and light is launched into it in air. Calculate its numerical Aperture.

   Sol: Given that n1=1.5 and n2=1.45

   We know that NA= $\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

   NA= $\sqrt{1.5^2 - 1.45^2}$

   NA= $\sqrt{2.25 - 2.1025}$

   NA= $\sqrt{0.1475}$ = 0.38

10. Calculate acceptance angle for the fiber in the water. It has core and cladding with refractive indices as 1.61 and 1.59 respectively.

    Sol: Given $n_1 = 1.61$ and $n_2 = 1.59$

- Numerical aperture $NA = \frac{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{n_0} = \frac{(1.61^2 - 1.59^2)^{1/2}}{1.33} =$ 0.19
- Acceptance angle in is $\theta_A = NA = 0.19 = 10.9^0$

11. Calculate acceptance angle for the fiber in the water. It has core and cladding with refractive indices as 1.61 and 1.59 respectively.

Sol: Given $n_1 = 1.61$ and $n_2 = 1.59$

- Numerical aperture $NA = \frac{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{n_0} = \frac{(1.61^2 - 1.59^2)^{1/2}}{1.33} =$ 0.19
- Acceptance angle in is $\theta_A = NA = 0.19 = 10.9^0$

12. Find the Numerical aperture and acceptance angle for a multimode glass fiber that has core refractive index 1.48 and 2% core-cladding index difference

Sol: If Δ is core-cladding index difference, then we have Δ= 0.02

$$n_2 = n_1 - n_1\Delta = n_1(1 - \Delta) = 1.48(1 - 0.02) = 1.45$$

- Numerical aperture $NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = (1.48^2 - 1.45^2)^{1/2}$ = 0.296
- Acceptance angle in air is $\theta_A = NA = 0.296 = 17.2^0$

13. An optical fiber with a numerical aperture of 0.3 and a cladding refractive index of 1.4 then find the value of core refractive index.

Sol: $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

$$n_1 = \sqrt{NA^2 + n_2^2}$$

$$n_1 = \sqrt{0.3^2 + 1.4^2}$$

$$n_1 = 1.43$$

14. The refractive indices of core and cladding of a step index optical fiber are 1.5 and 1.48 respectively. Calculate (i) numerical Aperture, (ii) The acceptant angle (iii) The critical angle at core

cladding interface and (iv) Fractional refractive indices change of the optical fiber

Sol: Given that n1=1.5 and n2=1.48, n0=1

(i) We know that NA= $\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

NA= $\sqrt{1.5^2 - 1.48^2}$

NA= $\sqrt{2.25 - 2.1904}$

NA= $\sqrt{0.0596}$ = 0.244

(ii) Sin(im) = ($\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ /n0)

Sin(im) =0.244

im=sin-1(0.244) = 14° 7'

(iii) $\theta_c = Sin^{-1}(\frac{n_2}{n_1})$

$\theta_c = Sin^{-1}(\frac{1.48}{1.5})$

$\theta_c = Sin^{-1}(0.987)$

θ_c =80° 45'

(iv) Δ= n1- n2/ n1

Δ=(1.5-1.48)/1.5

Δ=0.013

15. The refractive indices of the core and cladding of a step index fiber are 1.49 and 1.46 respectively. The diameter of the fiber is 50 μm. Calculate (i) Numerical Aperture, (ii) The number of possible modes at an operating wavelength of 1.5μm and (iii) Velocity of light in the core and cladding of the fiber.

Sol: Given that n1=1.49 and n2=1.46, a=50μm, λ=1.5 μm

(i) We know that NA= $\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

NA= $\sqrt{1.49^2 - 1.46^2}$

NA= $\sqrt{2.2201 - 2.1316}$

NA= $\sqrt{0.0885}$ = 0.3

(ii) V (v-number)= $\frac{2\pi a}{\lambda}$ (NA)

$$V = \frac{2x\ 3.14\ x50}{1.5}\ (0.3)$$

$$V = 62.8$$

$$N = \frac{V^2}{2} = \frac{62.8^2}{2} = 1971$$

(iii) $v_{core} = \frac{c}{n_1}$

$$v_{core} = \frac{3\ x\ 10^8}{1.49} = 2.01\ x\ 10^8\ m/sec$$

$$v_{clad} = \frac{c}{n_1}$$

$$v_{clad} = \frac{3\ x\ 10^8}{1.46} = 2.05\ x\ 10^8\ m/sec$$

16. A Laser of 2mW is launched into the optical fiber of length 100m. If the output power at the other end is 0.5mW, calculate the fiber attenuation factor. $\alpha = 52.29$ dB/km)

Sol: Given that

Pin =2mW

Pout = 0.5mW and

L=100m

$$We\ know\ that, Optical\ attenuation\ factor\ (\alpha) = \frac{10}{L}\ log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right)\ dB/km$$

$$\alpha = \frac{10}{100}\ log\left(\frac{2}{0.5}\right)$$

$$\alpha = 0.06\ dB/m$$

$$\alpha = 60\ dB/km$$

17. An Optical fiber of 1mW is guided into the optical fiber of length 100m. If the output power at the other end is 0.1mW, find the output power after 200m length of the optical fiber.

Sol: Given that

Pin =1mW

Pout = 0.1mW and

L=100m

$$We\ know\ that, Optical\ attenuation\ factor\ (\alpha) = \frac{10}{L}\ log\ \left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right)\ dB/km$$

$$\alpha = \frac{10}{100}\ log\ \left(\frac{1}{0.1}\right)$$

$$\alpha = 0.1\ dB/m$$

$$\alpha = 100\ dB/km$$

For L=200m, the output power is

Pout = Pin 10-αL/10

Pout = 1x 10-0.1 x 200/10

Pout = 0.01mW

18. A fiber has a numerical aperture of 0.2 and is transmitting light with a wavelength of 1.6 μm. The refractive index of the core is 1.5 and the radius of the core is 50 μm. Find the number modes of the fiber

Sol: Given that n1=1.5 NA=0.2, a=50μm, and λ=1.6 μm

V (v-number)= $\frac{2\pi a}{\lambda}\ (NA)$

$$V = \frac{2x\ 3.14\ x50}{1.6}\ (0.2)$$

$$V = 39.25$$

$$N = \frac{V^2}{2} = \frac{39.25^2}{2} = 770$$

19. A low loss optical fiber has the attenuation of 6db/km at 1550nm. Find the at what length of the optical fiber power is decreased by 50%.

Sol: Given that $P_{out}/\ P_{in}$ = 50%= 0.5

L=? and α = 3 dB/km

$$L = -\frac{10}{\alpha}\ log\ \left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right)$$

$$L = -\frac{10}{6}\, log\,(0.5)$$

$$L = 0.5k$$

MCQs

1. The lateral chromatic aberration can be reduced

a).By using plano convex lens b) By combining diverging and converging lens

c) Increasing the dispersive power of lens d)By using convex lens

Ans: b APPGCET 2022

2. Single mode optical fiber supports propagation of

a).Meridinal Rays b) Skew Rays c) Helical rays d)All of the above

Ans: a APPGCET 2022

3. Preferable source of light used in optical fiber

a)LED b) Sodium light c) LASER d)Mercury light

Ans: c APPGCET 2022

4. Which of the following will produce smaller chromatic aberration?

a)Thick lens b) Thin lens c) both d) Insufficient informaton

Ans: b APPGCET 2021

5. Which of the following phenomena is used in optical fibers?

a)Total internal reflection b) scattering c)diffraction d)Refraction

Ans: a APPGCET 2021

6. Spherical Aberrations occurs when light passes through

a).Centre part of lens b) A round lens c) Diverging lens d)Edge of the lens

Ans: d APPGCET 2021

7. A toy of 7.5 mm tall is on the central axis 100 cm from the front face of a bi convex lens of 20 cm focal length. If the image of the toy formed on a wall is 30 mm tall, the transverse magnification of the lens is

A. +4 B. - 2 C. - 5 D. - 4

HCU 2021

Ans:D

8. A thin positive lens of refractive index 1.6 in air has a focal length of 40 cm. This lens is immersed in an aquarium 60 cm in front of a small fish to form an image. The image characteristics of the fish are

A. The image is real,inverted and magnified 2 times

B. The image is virtual, inverted and magnified 3.6 times

C. The image is real, inverted and magnified 2 times

D. The image is virtual, inverted and magnified 2 times

HCU 2021

Ans:A,C

9. A Keplerian telescope operating at infinite conjugates is composed of two thin positive lenses separated by 1.55m providing an angular magnification of 30. The viewer pulls the eyepiece out by 5 cm to clearly see the object with a relaxed eye. The location of the object is

A. 64.50 m B. 46.50 m C. 31.55 m D. 55.13 m

HCU 2021

Ans:B

10. A common lens coating material used for non-reflective coating has a refractive index of 1.6. The thickness of a non-reflective coating to be used for 800 nm light is

A. 125 nm B. 250 nm C. 400 nm D. 500 nm

HCU 2021

Ans:A

11. A lens of focal length 22 mm is being used for imaging an object on a screen kept at 25 mm. The object distance, spatial and angular magnification, respectively, are

A. 183 mm, 0.880, and 1.136. B. 183 mm, -0.136, and -7.320.

C. 183 mm. -0.880, and -1.136. D. 183 mm, -1.136, and -0.880.

HCU 2020

12. Consider two symmetrical thin lenses, one is converging with focal length $f_1$and refractive index n_1 and the other is diverging with focal length f_2 and refractive index n_2. The radius of curvature of both the lenses is R. If the lenses are put together and submerged in water (refractive index n_w), the effective focal length of the system is

A. $\frac{2(n_1-n_2)}{n_wR}$ B.$\frac{2n_wR}{(n_1+n_2)}$ C. $\frac{2n_w}{R(n_1+n_2)}$ D.$\frac{n_wR}{2(n_1-n_2)}$

HCU 2019

Ans: D

13. The size of optical fibers used in Telecommunications ranging from

a)10 - 50 μm b) 100-125 μm c) 250-300 μm d) 1.32 - 1.55 μm

AUCET 2020

Ans: c

14. Aberrations' comes under following field of optics

a).Physical optics b) Geometrical topics c) Ray Optics d)None

Ans: b

15. Main types of aberrations are

    a)Chromatic aberration b) Monochromatic aberration

    c) a and b only d). a and b along with Quasimonochromatic aberration

Ans: c

16. Spherical aberration is minimum for

    a)Plano Convex lens b) Spherical lens c) Plano Concave lens d)All

Ans: a

17. A spherical air bubble is embedded in a glass slab. It will behave like a

    (a) Cylindrical lens (b) Achromatic lens (c) Converging lens (d) Diverging lens

    Ans.: (c)

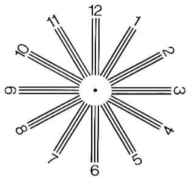
18. Even when an optical system is free from all aberrations, the image of a point object will not be a point . This is because of one of the following light property

    a)Interference b)Reflection c)Diffraction d)Polarization

Ans: c

19. View the given figure with one eye by closing other eye, if one set of lines bolder than the others you have

    a)astigmatism b)Sperical aberration c)Coma d)None



Ans: a

20. In optical fiber, if n_1 is refractive index of core and if n_2 is refractive index of cladding, the condition for light propagation is

    a) $n_1 = n_2$ b) $n_1 > n_2$ c) $n_1 < n_2$ d)All

    Ans: b

21. What type of Laser/Lasers is/are used mostly in fiber optics

    a) *Ruby Laser* b) *Semiconductor Laser* c) *He − Ne Laser* d)All

    Ans: b

22. The core diameter of step index fiber is

    a) 50 -100 μm b) 8 -10 μm c) 100 -150 μm d) It depends on mode type not on index type

    Ans: d

23. An index difference between core and cladding is of the order of

    a) $\Delta n \approx 0.1$ b) $\Delta n \approx 1$ c) $\Delta n \approx 0.0001$ d) $\Delta n \approx 2$

    Ans: a

24. The principle used in optical fiber is

    a) Interference b) Diffraction c) Polarization d)Total Internal reflection

    Ans: d

25. Which of the following is widely used in the world

    a) Single mode step index b)Multi mode step index

    c)multi mode graded index d) Single mode graded index

    Ans: a

26. An optical fiber can carry approximately

    a) 10 billion TV Channels b)10 Million TV Channels c) 100 TV Channels d)None

    Ans: a

27. The refractive index profile for graded index fiber from center of core is as following manner

a) Straight line b) Parabolic c) constant d) a and b

Ans: b

28. Optical fibers are fabricated from glass or a plastic polymer because

a) To get electrical isolation b)To get Electromagnetic Interference

c) To get high tensile strength for flexibility d) Both a and c

Ans: d

29. The phenomenon employed in the waveguide operation is

(a) reflection (b) refraction (c) total internal reflection (d) absorption

Ans. : (c)

Grade your understanding

1.	A ray has infinite wavelength	[ ]
2.	We get perfect images of objects in the realm of paraxial optics	[ ]
3.	Chromatic aberrations are independent of monochromatic aberrations	[ ]
4.	For an achromatic doublet, the two lenses must be of same materials	[ ]
5.	The aberrations produced by a lens due to optical system are monochromatic	[ ]
6.	The deviation of light ray from an object by the lens is independent of object position	[ ]
7.	The spherical aberration produced by a concave lens is positive	[ ]
8.	Huygens eyepiece is an example of Achromatic doublet(Lenses are in contact)	[ ]
9.	For a point object on the principal axis of a lens is free from Coma	[ ]
10.	Optical fibers carry very large information compared to copper cable	[ ]

11. Electromagnetic wave in entire frequency region can be used as carrier in optical fiber communications [ ]
12. Delay distortion of light pulses in optical fiber is because of spreading of pulses with time [ ]
13. Our atmosphere is an example of graded index medium [ ]
14. The focal lengths are shorter for shorter wavelengths and longer for longer wavelengths for both convex and concave lenses [ ]
15. The most difficult lens aberration to correct is Coma [ ]

Ans : 1.No 2.Yes 3.Yes 4. No 5.Yes 6. Yes 7. No 8.No 9.Yes 10. Yes 11.No 12. Yes 13.Yes 14. No 15. Yes

Glossary

Glossary	
Aberration	The defect of a lens in convergence of rays at one focus
Acceptance angle	The angle over which the core of an optical fiber accepts incoming light and is measured from fiber axis
Achromatism	Inability of separation of colours
Aperture	An opening by which light enters the fiber
Aplanatic points	Two points on axis of optical system having the property that the rays from one point will all converge to, or diverge from the other
Barrel	A cylindrical container bulging out in the middle, traditionally made of wooden staves with metal hoops round them
Buffer	A layer that protects or acts as a barrier for the cladding of an optical fiber from outer environment

Chromatic aberration	The effect produced by the refraction of different wavelengths of light through slightly different angles, resulting in a failure to focus
Cladding	A layer that surrounds the core and reflects light/ information back in to the core
Concave lens	Lens with more thickness at centre than at edges which converges light beam from a source
Convex lens	Lens with less thickness at centre than at edges which diverges light beam from a source
Core	The transparent centre of an optical fiber where light is internally transmitted
Corrosion	A natural process that converts a refined metal into a more chemically stable oxide
Critical angle	The smallest angle of incident at which total internal reflecton occurs
Encoder	A sensing device that provides feedback, also used to convert (a message, information, etc.) Into meaningful code.
Fiber/fiber	A thread or a structure that look like a thread
Fiber scope	An optical instrument that examine the output of fiber bundles
Focal length	Distance between optical centre and focus of the lens
Gaussian Optics	Geometrical optics with the approximation of Snell's law where sine angle is replaced with tangent angle for paraxial rays
Geometrical optics	The branch of optics that describes the light propagation in terms of rays
Lens	A piece of transparent material that concentrate or disperse light rays

Light guide	An optical fiber that guides electromagnetic waves
Line width	The range of wavelengths in a signal
Marginal Ray	A ray which hits towards edges of the lens and hence away from optical axis
Negative refraction	Refraction of electromagnetic wave at metamaterial surface where it's propagation gets reversed and values of permittivity & permeability become negative
Numerical Aperture	The light gathering ability of a fiber
Opaque	Preventing light from travelling through the material, and therefore not transparent or translucent
Optical axis	An imaginary line that pass through geometrical centre of optical system ,also called principal axis
OFC cable	A fiber-optic cable is composed of very thin strands of glass or plastic known as optical fibers
Paraxial ray	A ray that makes small angle to the lens optical axis
Petzval curvature	An aberration in which Flat object normal to the optical axis cannot be a flat image(Petzval - Scientist name)
Petzval lens	A two-element highly achromatized camera objective having low transmission loss
Poly chromatic aberration	Failure of a lens to focus all colours at a point
Provoking	To cause the occurrence of (a feeling or action) to make (something) happen

Refractive index	Ratio of Speed of light in vacuum to speed of light in the material which measures how material refracts light
Sagittal	A plan that divides a body into left and right
Silica	Silicon di oxide
Splice	Permanent junction between two fiber ends
Thin lens	Lens with negligible thickness when compared with radii of curvature of its surfaces
Wave guide	A system that guides electromagnetic waves

UNIT-5
LASERS and HOLOGRAPHY
లేసర్ లు మరియు హోలోగ్రఫీ

CHAPTER 5

లేసర్ లు మరియు హోలోగ్రఫి

శిక్షణ లక్ష్యాలు

ఈ అధ్యాయంలో విద్యార్థులు ఈ విషయాలు నేర్చుకుంటారు,

1. స్పాంటేనియస్ మరియు స్టిములేటెడ్ ఎమిషన్ గురించి,.

2. పాపులేషన్ ఇన్వర్షన్, లేసర్ ప్రిన్సిపుల్, ఐన్‌స్టీన్ కోఫిసియంట్స్.

3. He-Ne లేసర్ మరియు రూబీ లేసర్ గురించి,

4. లేసర్ యొక్క అప్లికేషన్స్

5. హోలోగ్రఫి యొక్క ప్రిన్సిపల్ మరియు అప్లికేషన్స్.

అభ్యసన ఫలితాలు

అధ్యాయం ముగిసే సమయానికి, విద్యార్థి ఈ క్రిందవి చేయగలరు.

1. ఆకస్మిక, ఉత్తేజిత ఉద్గారాలు, జనాభా విలోమం అంటే ఏమిటో మరియు హోలోగ్రామ్ అంటే ఏమిటో వివరించగలరు ..
2. జనాభా విలోమం లేజర్ చర్యకు ఎలా దారితీస్తుందో మరియు హోలోగ్రామ్‌ను ఎలా రూపొందించాలో వివరించగలరు .
3. He-Ne మరియు Ruby లేజర్‌ల రూపకల్పనలో లేజర్ సూత్రాన్ని వర్తింపజేయగలరు .
4. 3 స్థాయి మరియు 4 స్థాయి లేజర్ సిస్టమ్‌లలో లేసింగ్ చర్యను విశ్లేషించగలరు .
5. విద్యార్థి హోలోగ్రామ్ అంటే ఏమిటో వివరించగలడు.
6. వివిధ రంగాలలో లేజర్‌లు మరియు హోలోగ్రామ్‌ల అవసరాన్ని సమర్థించగలరు. లేజర్‌లు మరియు హోలోగ్రామ్‌లను ఉపయోగించడం కోసం ప్రోటోటైప్ మోడల్‌లను అభివృద్ధి చేయగలరు..

LASERS AND HOLOGRAPHY

CHAPTER 5

Syllabus

Lasers: Introduction, Spontaneous emission, Stimulated emission, Population Inversion, Laser principle, Einstein coefficients, Types of lasers: He-Ne laser, Ruby laser, Applications of lasers. Holography: Basic principle of holography, Applications of holography.

Learning Objectives

In this chapter students would learn about,

1. Spontaneous emission and stimulated emission.
2. Population inversion, Laser principle, Einsteein coefficients.
3. He-Ne laser, Ruby laser
4. Applications of Lasers
5. Principle and Applications of Holography

Learning Outcomes

By the end of the chapter, student would be able to

1. Describe what spontaneous, stimulated emission, population inversion is and what a hologram is.
2. Explain how population inversion leads to laser action and how to generate a hologram.
3. Apply the laser principle in designing He-Ne and Ruby lasers.
4. Analyse the lasing action in 3 level and 4 level laser systems.
5. Justify need of lasers and holograms in various fields.
6. Develop prototype models for using lasers and holograms.

వివిధ ప్రోగ్రాం లకు చెందిన నిర్దిష్ట ఫలితాలు మరియు భవిష్యత్ దిశానిర్దేశకాలు

ఈ అధ్యాయం ముగిసే సమయానికి నిర్దిష్ట కార్యక్రమాలకు చెందిన విద్యార్థులు క్రింది రంగాలలో లేజర్‌లు మరియు హోలోగ్రాఫీ అవసరాన్ని గుర్తించగలరు.

1. భౌతికశాస్త్రం: లేజర్‌లు మెటీరియల్ ప్రాసెసింగ్ మరియు మెటీరియల్ క్యారెక్టరైజేషన్‌లో వాటి అప్లికేషన్‌లను కనుగొంటాయి.
2. రసాయన శాస్త్రం:డై లేజర్‌కు కెమిస్ట్రీ పరిజ్ఞానం అవసరం మరియు కొన్ని అధిక పీడన రసాయన ప్రతిచర్యలు లేజర్‌ల ద్వారా సహాయపడతాయి.
3. కంప్యూటర్ సైన్స్:లాజిక్ పరికరాలు, మెమరీ పరికరాలు మరియు కమ్యూనికేషన్ పరికరాలను అభివృద్ధి చేయడానికి LASERలను ఉపయోగించవచ్చు. బ్లూ లేజర్ అభివృద్ధి అనేది డేటా నిల్వ పరికరాలలో ఒక మైలురాయి ఆవిష్కరణ. హోలోగ్రాఫిక్ ఆగ్మెంటెడ్ రియాలిటీ అనేది కంప్యూటర్ సైన్స్‌లో ప్రధాన పరిశోధనా అంశం. అనేక లేజర్ అసిస్టెడ్ సర్జికల్ టూల్స్ మరియు మెడికల్ డయాగ్నస్టిక్ టూల్స్ ని నిర్వహించడానికి తగిన ప్రోగ్రామింగ్ సపోర్ట్ అవసరం.
4. భూగర్భ శాస్త్రం:భౌగోళిక నమూనా విశ్లేషణలో లేజర్‌లు ఉపయోగపడతాయి, శాటిలైట్ లేజర్ ఇమేజింగ్ మరియు LIDAR సాంకేతికతలకు లేజర్‌ల పరిజ్ఞానం అవసరం.
5. ఎలక్ట్రానిక్స్:మైక్రోచిప్ తయారీ, వైర్‌లెస్ పవర్ ట్రాన్స్‌మిషన్, ఆప్టికల్ సెన్సార్‌లు మరియు ఆప్టికల్ ఫైబర్ కమ్యూనికేషన్‌లో లేజర్‌లను ఉపయోగిస్తారు.
6. పునరుత్పాదక శక్తి:సోలార్ పంప్ లేజర్‌లను బీమ్ పవర్డ్ స్పేస్ ప్రొపల్షన్, సోలార్ పవర్ శాటిలైట్‌లలో ఉపయోగిస్తారు.
7. గణాంకాలు:నిర్దిష్ట అనువర్తనాల కోసం ప్రత్యేక ప్రయోజన లేజర్‌లను అభివృద్ధి చేయడంలో లేజర్ మోడ్‌ల గణాంక విశ్లేషణ అవసరం.

.సుపరిచితం నుండి అపరిచితం దాకా

మీ 12వ తరగతిలో, రే ఆప్టిక్స్ అధ్యాయంలో, లేజర్ షోలలో చిత్రాలు ఎలా ఏర్పడతాయో మీరు తెలుసుకుని ఉండవచ్చు. వేవ్ ఆప్టిక్స్ అధ్యాయంలో, ధ్రువణాన్ని అర్థం చేసుకోవడానికి లేజర్ కాంతిని ఎలా ఉపయోగించాలో మీరు తెలుసుకుని ఉండవచ్చు. పరమాణువుల అధ్యాయంలో, మీరు LASER యొక్క సంక్షిప్త పదం, లేజర్ యొక్క లక్షణాలు మరియు శస్త్రచికిత్సలు, కట్టింగ్, వెల్డింగ్ మరియు చంద్రుని దూరం కొలతక మొదలైన కొన్ని అనువర్తనాలను విస్తరించడం గురించి మీకు పరిచయం చేసి ఉండవచ్చు. ఈ అధ్యాయంలో మీరు లేజర్ లక్షణాలను వివరంగా తెలుసుకుంటారు. కొన్ని మొదటి తరం లేజర్‌ల నిర్మాణం మరియు పని చేయడం, లేజర్‌ల యొక్క కొన్ని అప్లికేషన్‌లు మరియు హోలోగ్రఫీ యొక్క ఫండమెంటల్స్, ఇది లేజర్ యొక్క ప్రధాన అప్లికేషన్‌లలో ఒకటి.

.

Course Outcomes specific to program and Future directions

By the end of this chapter students from specific programs would be able to identify the need of central forces in the following fields.

8. Physics: Lasers find their applications in material processing and material characterization.
9. Chemistry: Dye laser requires knowledge of chemistry and some high pressure chemical reactions are assisted by lasers.
10. Computer Science: LASERs can be used to develop logic devices, memory devices, and communication devices. Development of blue laser is a landmark invention in data storage devices. Holographic augmented reality is a major research area in computer science. Handling somany laser assisted surgicsl tools and medical diagnostic tools require suitable programming support.
11. Geology: Lasers are useful in geological sample analysis, Satellite laser imaging and LIDAR techniques require knowlwdge of lasers.
12. Electronics: Lasers are used in microchip fabrication, wireless power transmission, optical sensors and in optical fiber communication.
13. Renewable energy: Solar pumped lasers are used in beam powered space propolution, solar power satellites.
14. Statistics: Statistical analysis of laser modes is essential in developing special purpose lasers for specific applications.

Familiar to Unfamiliar

In your 12th class, in the chapter on ray optics, you might have learned how images are formed in laser shows. In the chapter on wave optics, you might have learned how laser light is utilized to understand polarization. In the chapter on Atoms, you might have been introduced to the expansion the acronym for LASER, properties of laser and some of the applications like surgeries, cutting, welding and distance to moon measurement etc. In this chapter you would learn in detail the properties of laser, construction and working of a few first generation lasers, some applications of Lasers and the fundamentals of Holography, which is one of the prime applications of Laser.

5.1 పరిచయం

లేజర్ అనేది "లైట్ యాంప్లిఫికేషన్ బై స్టిమ్యులేటెడ్ ఎమిషన్ ఆఫ్ రేడియేషన్" యొక్క సంక్షిప్త రూపం. యాంప్లిఫికేషన్ అనేది వేవ్ యొక్క యాంప్లిట్యూడ్ ని పెంచే ప్రక్రియ. వేవ్ యొక్క యాంప్లిట్యూడ్ ని పెంచడానికి, కంస్ట్రక్టివ్ ఇంటర్ఫెరెన్స్ ఉపయోగపడుతుంది. కంస్ట్రక్టివ్ ఇంటర్ఫెరెన్స్ జరగాలంటే, సూపర్ ఇంపోజ్ చెందుతున్న తరంగాలు ఒకే ఫేస్ ని కలిగి ఉండాలి. స్టిములేటెడ్ ఎమిషన్ అనేది ఒక రకమైన కాంతి ఉద్గార ప్రక్రియ, ఇక్కడ అన్ని విడుదలైన కాంతి తరంగాలు ఒకే ఫేస్ ను కలిగి ఉంటాయి. ఆ విధంగా లేజర్‌లలో, కాంతి తరంగాల యాంప్లిట్యూడ్ కంస్ట్రక్టివ్ ఇంటర్ఫెరెన్స్ ద్వారా పెరుగుతుంది, మరియు ఇక్కడ అన్ని కాంతి తరంగాలకు ఒకే ఫేస్ ఉండటం, స్టిములేటెడ్ ఎమిషన్ ద్వారా సంభవిస్తుంది.

ఐన్‌స్టీన్ తన 1916 పేపర్‌లో "క్వాంటం సిద్ధాంతంలో రేడియేషన్ ఉద్గార మరియు శోషణ" లో స్టిములేటెడ్ ఎమిషన్ యొక్క సంభావ్యతని ప్రతిపాదించాడు.

E - Corner

https://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol6-trans/224
https://en.wikipedia.org/wiki/Laser#History
https://doi.org/10.1117/1.3483597
https://en.wikipedia.org/wiki/Flat_Earth
https://en.wikipedia.org/wiki/Copernican_Revolution
https://tinyurl.com/Heliocentrism-htm

Activity

Prepare a study report on working of atomic clocks and optical time keepers.

5.1 Introduction

LASER is an acronym for “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”. Amplification is the process in which the amplitude of the wave increases. To increase the amplitude of a composite wave, one needs to have constructive interference. For constructive interference to happen, the waves that are superimposing should have the same phase. Stimulated emission is a type of light emission process where all the emitted light waves are made to have same phase. Thus, in lasers, the amplitude of light waves is increased by constuctive interference, where same phase for all light waves is ensured by the stimulated emission process.

Einstein has proposed the possibility of stimulated emission in his 1916 paper on “Emission and Absorption of Radiation in Quantum theory”. The concept was first experimentally tested in microwaves regime in 1953. The end product is MASER. (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation.) These are the real time keepers in atomic clocks and deep space spacecraft communication with ground stations. Further the letter M in MASER is abbreviated as Molecular instead of Microwave as the technology is extended to radio and infrared frequency radiations.

Did You Know?

Atomic clocks use Cesium or Rubidium or Hydrogen atoms cooled down near to absolute zero. A particular energy level transition in those atoms is selected whose frequency lies in microwave region. (Rubidium 6.8GHz, Cesium 9.19GHz, Hydrogen 1.4GHz) Those oscillations are maintained with nanosecond accuracy using MASER technology. Recently Room temperature solid state MASER has been developed using Diamond which will become a major breakthrough due to its convenient operational temperature. Optical timekeepers also have been developed which are more accurate than MASER technology but are not stable yet for long term usage.

5.1 Introduction

ఈ కాన్సెప్ట్‌ను 1953లో మైక్రోవేవ్‌ల విధానంలో మొదటిసారిగా ప్రయోగాత్మకంగా పరీక్షించారు. తుది ఉత్పత్తి MASER. (మైక్రోవేవ్ యాంప్లిఫికేషన్ బై స్టిమ్యులేటెడ్ ఎమిషన్ ఆఫ్ రేడియేషన్.) ఇవి అణు గడియారాలలో నిజ సమయ కీపర్లు మరియు గ్రౌండ్ స్టేషన్‌లతో లోతైన అంతరిక్ష అంతరిక్ష నౌక కమ్యూనికేషన్. సాంకేతికత రేడియో మరియు ఇన్‌ఫ్రారెడ్ ఫ్రీక్వెన్సీ రేడియేషన్ లకు విస్తరించబడినందున MASERలోని M అక్షరం మైక్రోవేవ్‌కు బదులుగా మాలిక్యులర్‌గా సంక్షిప్తీకరించబడింది.

మైక్రోవేవ్ ప్రాంతంలో పనిచేసే సాంకేతికత కనిపించే ప్రాంతానికి విస్తరించబడింది మరియు మొదటి లేజర్‌ను 1960లో థియోడర్ మైమాన్ అభివృద్ధి చేశారు. దీనిని మొదట ఆప్టికల్ మేజర్ అని పిలిచేవారు. తర్వాత దానికి లేజర్ గా పేరు మార్చారు. 1957లో ఆప్టికల్ మేజర్‌పై పనిచేస్తున్నప్పుడు లేజర్ అనే పేరును గోర్డాన్ గౌల్డ్ తన ప్రయోగశాల నోట్‌బుక్‌లలో ఉపయోగించారు.

అప్పటి నుండి, ఘనపదార్థాలు, ద్రవాలు మరియు వాయువులు వంటి వివిధ పదార్థ మాధ్యమాలలో లేజర్‌లు అభివృద్ధి చేయబడ్డాయి. కొన్ని శక్తివంతమైన లేజర్‌లు కూడా ప్రాణాంతక ఆయుధ అభివృద్ధికి పరిశోధనలో తమ అప్లికేషన్‌లను కనుగొన్నాయి. ప్రస్తుత రోజుల్లో, బార్‌కోడ్ స్కానర్‌ల నుండి ఉష్ణోగ్రత స్కానర్‌ల వరకు లేజర్‌లు మన రోజువారీ జీవితంలో ఒక భాగంగా మారాయి; పిల్లల బొమ్మ లేజర్ తుపాకుల నుండి ప్రాణాంతక ఆయుధాల వరకు; హ్యాండ్‌హెల్డ్ మెడికల్ ఇమేజింగ్ పరికరాల నుండి సర్జికల్ లేజర్‌ల వరకు; మెటీరియల్ క్యారెక్టరైజేషన్ నుండి మెటీరియల్ మానిప్యులేషన్ టెక్నిక్‌ల వరకు. ఇంజినీరింగ్ నావిగేషన్ మరియు స్పేస్ నావిగేషన్ అప్లికేషన్‌ల వరకు. ఈ అధ్యాయంలో మనము లేజర్ యొక్క లక్షణాలను మరింతగా అధ్యయనం చేస్తాము, అవి వాటిని ప్రత్యేకమైనవిగా చేశాయి మరియు ఇది ఆప్టిక్స్ యొక్క ఉపశాఖ ప్రారంభానికి దారితీసింది, అది చివరికి ఆప్టిక్స్ పరిశోధన యొక్క ప్రధాన శాఖగా పరిణామం చెందింది.

లేజర్ యొక్క లక్షణాలు:

ఏకవర్ణత:

లేజర్‌లో, అన్ని ఫోటాన్‌లు ఒకే విధమైన శక్తి స్థాయిల నుండి ఒకేలా ఉన్న వేర్వేరు అణువులలో విడుదలవుతాయి. అందువల్ల లేజర్ కాంతి స్థిరమైన తరంగదైర్ఘ్యం మరియు ఫ్రీక్వెన్సీని నిర్వహిస్తుంది. కాబట్టి దీనిని మోనోక్రోమటిక్ రేడియేషన్ అంటారు. ఎగువ లేజర్ స్థాయి దగ్గరగా వేరు చేయబడిన శక్తి స్థాయిలను కలిగి ఉంటే, అప్పుడు ఉద్గార ఫోటాన్లు దగ్గరగా వేరు చేయబడిన పౌనఃపున్యాలు లేదా తరంగదైర్ఘ్యాలను కలిగి ఉంటాయి. పౌనఃపున్యం మరియు తరంగదైర్ఘ్యంలోని స్ప్రెడ్‌ని వరుసగా $\nu + \Delta\nu$ మరియు $\lambda + \Delta\lambda$ ద్వారా సూచిస్తే, వాటి మధ్య సంబంధం ఇలా ఉంటుంది.

$$\Delta\lambda = -\left(\frac{c}{\nu^2}\right)\Delta\nu$$

A technology that worked in microwave region has been extended to visible region and the first LASER was developed in 1960 by Theodore Maiman. It was first called as Optical MASER. Further it was renamed as LASER. The name LASER was first used by Gourdon Gould in his laboratory notebooks, while working on Optical Masers in 1957.

Since then, LASERs have been developed in various material media like solids, liquids and gases. Some of the more powerful lasers also have found their applications in research to lethal weapon development. In the present day, lasers have become a part and parcel of our day to day life from barcode scanners to temperature scanners; from kid's toy laser guns to the lethal weapons; from handheld medical imaging equipment to surgical lasers; from material characterization to material manipulation techniques. Engineering navigation and ranging to space navigation applications. In this chapter we further study the properties of laser that made them unique and which led to the inception of a subbranch of optics that eventually evolved into a major branch of optics research.

Characteristics of Laser:

Monochromaticity:

In Laser, all photons emit from same set of energy levels in different identical atoms. Hence the laser light maintains constant wavelength and frequency. Thus it is called monochromatic radiation. If the upper laser level has closely separated energy levels, then the emitted photons will have closely separated frequencies or wavelengths. If the spread in frequency and wavelength are denoted respectively by $\lambda + \Delta\lambda$ and $\nu + \Delta\nu$, then they are related by

$$\Delta\lambda = -\left(\frac{c}{\nu^2}\right)\Delta\nu$$

Directionality:

Ordinary light diverges highly as it travels through a medium. But laser light diverges less. If λ is the wavelength of laser light and if d is diameter at the source, then it propagates as a

5.1 Introduction

దిశానిర్దేశం:

ఒక మాధ్యమం ద్వారా ప్రయాణిస్తున్నప్పుడు సాధారణ కాంతి చాలా ఎక్కువగా వ్యాప్తి చెందుతుంది. కానీ లేజర్ కాంతి తక్కువగా వ్యాప్తి చెందుతుంది. లేజర్ కాంతి యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం λ ఉంటే మరియు మూలం వద్ద వ్యాసం d ఉన్నట్లయితే, అది విభేదం లేకుండా d^2/λ దూరం వరకు సమాంతర పుంజం వలె వ్యాపిస్తుంది. లేజర్ పుంజం యొక్క డైవర్జెన్స్ కోణం ΔABC నుండి ఇలా ఇవ్వబడింది,

$$\tan\frac{\phi}{2} \simeq \frac{\phi}{2} = \frac{(d_2 - d_1)}{2(x_2 - x_1)} \Rightarrow \phi = \frac{(d_2 - d_1)}{(x_2 - x_1)}$$

లేజర్ కాంతి కి $\phi = 10^{-3}$, రేడియన్లు. అందువల్ల సాంప్రదాయిక కాంతి వనరులతో పోలిస్తే డైవర్జెన్స్ చాలా తక్కువగా ఉంటుంది మరియు అందువల్ల లేజర్ కాంతి చాలా దిశాత్మకంగా ఉంటుంది.

దిశానిర్దేశం:

ఒక మాధ్యమం ద్వారా ప్రయాణిస్తున్నప్పుడు సాధారణ కాంతి చాలా ఎక్కువగా వ్యాప్తి చెందుతుంది. కానీ లేజర్ కాంతి తక్కువగా వ్యాప్తి చెందుతుంది. లేజర్ కాంతి యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం λ ఉంటే మరియు మూలం వద్ద వ్యాసం d ఉన్నట్లయితే, అది విభేదం లేకుండా d^2/λ దూరం వరకు సమాంతర పుంజం వలె వ్యాపిస్తుంది. లేజర్ పుంజం యొక్క డైవర్జెన్స్ కోణం ΔABC నుండి ఇలా ఇవ్వబడింది,

$$\tan\frac{\phi}{2} \simeq \frac{\phi}{2} = \frac{(d_2 - d_1)}{2(x_2 - x_1)} \Rightarrow \phi = \frac{(d_2 - d_1)}{(x_2 - x_1)}$$

లేజర్ కాంతి కి $\phi = 10^{-3}$, రేడియన్లు. అందువల్ల సాంప్రదాయిక కాంతి వనరులతో పోలిస్తే డైవర్జెన్స్ చాలా తక్కువగా ఉంటుంది మరియు అందువల్ల లేజర్ కాంతి చాలా దిశాత్మకంగా ఉంటుంది.

కొహెరెన్సు:

సాధారణ కాంతి మూలంలో, కాంతి తరంగాలు యాదృచ్ఛిక సమయాల్లో యాదృచ్ఛిక దిశలలో విడుదలవుతాయి. కానీ ప్రేరేపిత ఉద్గార ప్రక్రియలో, అన్ని ఫోటాన్లు ఒకదానితో ఒకటి ఖచ్చితమైన దశ సంబంధంతో విడుదల చేస్తాయి. ఇది లేజర్ పుంజం అత్యంత పొందికగా చేస్తుంది. రెండు రకాల కొహెరెన్సు ఉన్నాయి.

టెంపోరల్ కొహెరెన్సు (కాల సంబంధ పొందిక): ఒకే వేవ్‌లోని రెండు తరంగాలు లేదా రెండు వేవ్ రైళ్లు వేర్వేరు సమయాల్లో అంతరాళం లో స్థిరమైన బిందువు వద్ద స్థిరమైన దశ వ్యత్యాసాన్ని కలిగి ఉంటే అవి తాత్కాలిక పొందికతో ఉంటాయి.

కొహెరెన్సు పొడవు:(l_{coh})లైట్ వేవ్ రైలు దాని దశను ఊహించగలిగేలా నిర్వహించే పొడవును కొహెరెన్సు పొడవు అంటారు.

parallel beam up to d^2/λ distance without divergence. The angle of divergence of laser beam is given from ΔABC as,

$$\tan\frac{\phi}{2} \simeq \frac{\phi}{2} = \frac{(d_2 - d_1)}{2(x_2 - x_1)} \Rightarrow \phi = \frac{(d_2 - d_1)}{(x_2 - x_1)}$$

For laser light, $\phi = 10^{-3}$ radians. Thus for laser, divergence is very less compared to the conventional light sources and hence the laser light is highly directional.

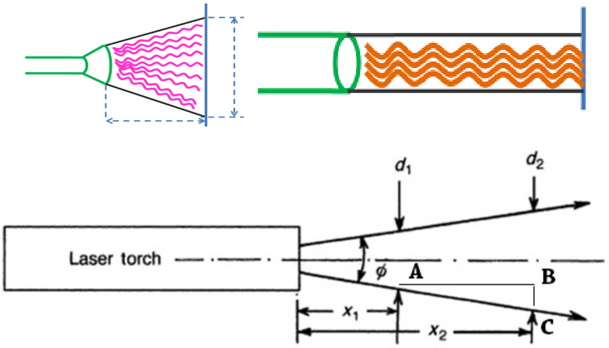
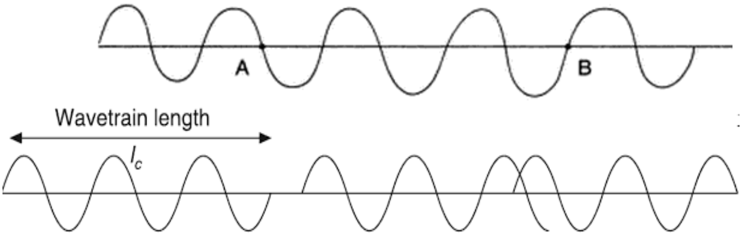


Fig: Ordinary light and Laser light divergence.

Coherence:

In ordinary light source, light waves emit at random times in random directions. But in the stimulated emission process, all the photons will emit with definite phase relation with each other. This makes the laser beam highly coherent. There are two types of coherences.

a. **Temporal coherence:** Two waves or two wave trains in a



single wave are said to be in temporal coherence if they

కొహెరెన్సు సమయం:(t_{coh})లైట్ వేవ్ రైలు దాని దశను ఊహించగలిగేలా నిర్వహించే సమయాన్ని కొహెరెన్సు సమయం అంటారు.

ఈ రెండింటికి సంబంధించినవి$l_{coh} = c\ t_{coh}$ ఇక్కడ c అనేది కాంతి వేగం

స్పేషియల్ కొహెరెన్సు (ప్రాదేశిక పొందిక): ఒక నిర్దిష్ట సమయంలో అంతరాళం లో రెండు వేర్వేరు పాయింట్ల వద్ద స్థిరమైన దశ వ్యత్యాసాన్ని నిర్వహిస్తే రెండు తరంగాలు ప్రాదేశికంగా పొందికగా ఉంటాయి

ఇక్కడ మనము వేవ్ యొక్క కదలిక దిశకు లంబంగా రెండు తరంగాల మధ్య దశ సంబంధాన్ని అధ్యయనం చేస్తాము. అందువల్ల దీనిని "తిర్యక్ పొందిక" లేదా "పార్శ్వ (పక్కవైపు) పొందిక" అని కూడా అంటారు.

పొందిక ప్రాంతం:(A_{coh})లైట్ వేవ్ రైళ్లు వాటి దశను ఊహించగలిగేలా ఉండే ప్రాంతాన్ని కోహెరెన్స్ ఏరియా అంటారు.

లేజర్ కాంతి యొక్క పొందిక పొడవు కొన్ని మీటర్ల నుండి కిలో మీటర్ల వరకు ఉంటుంది.

తీవ్రత:

లేజర్ పుంజం చాలా సన్నదైనందున, దాదాపు దాని శక్తి మొత్తం ఒక చిన్న ప్రాంతంలో ఎక్కువగా కేంద్రీకృతమై ఉంటుంది. యొక్క ఒక సాధారణ లేజర్ $10^{-3}W$ అవుట్‌పుట్ కలది $\sim 10^{24} - 10^{34}\ photons/m^2/s$ ఉత్పత్తి చేయగలదు, అయితే $1,000K$ వద్ద ఉన్న నల్లని శరీరం $\sim 10^{16}\ photons/m^2/s$ ఉత్పత్తి చేయగలదు.

5.2 కాంతి-పదార్థ పరస్పర చర్య మరియు ఐన్‌స్టీన్ కోఎఫీషియంట్స్

ఏదైనా పదార్థంపై కాంతి పడినప్పుడు, అది పదార్థ మాధ్యమంతో ఇంటరాక్ట్ అవుతుంది మరియు ఈ దృగ్విషయాన్ని కాంతి-పదార్థ పరస్పర చర్యగా పేర్కొంటారు. కాంతి-పదార్థ పరస్పర చర్య సమయంలో మూడు సాధ్యమయ్యే ప్రక్రియలు జరుగుతాయి. దాని కోసం, $\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$ శక్తితో వేరు చేయబడిన రెండు స్థాయి E_1, E_2 వ్యవస్థను పరిగణించగలరు . రెండు స్థాయిల మధ్య పరివర్తనను ప్రేరేపించగల రేడియేషన్/ఫోటాన్ యొక్క ఫ్రీక్వెన్సీ ν ఇక్కడ ఉంది. మూడు సాధ్యమయ్యే ప్రక్రియలు క్రింది విధంగా ఉన్నాయి.

ఉత్తేజిత శోషణ:

ఒక పరమాణువు E_1 స్థితిలో ఉన్నట్లయితే, శక్తి యొక్క ఫోటాన్ శోషణ ద్వారా దానిని అధిక శక్తి స్థాయి E_2 కి పెంచవచ్చు. స్థితి 1 నుండి స్థితి 2 వరకు ఉత్తేజిత శోషణ సంభావ్యత రేడియేషన్ యొక్క పతన శక్తి సాంద్రతకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.$h\nu = E_2 - E_1 u(\nu)$

$$P_{12} = B_{12}\, u(\nu)$$

ఇక్కడ$B_{12} Einstein's\ coefficient\ for\ stimulated\ absorption.$

maintain a constant phase difference at a fixed point in space at different times.

Coherence length (l_{coh})**:** The length up to which the light wave train maintains its phase predictable is called coherence length.

Coherence time (t_{coh})**:** The time up to which the light wave train maintains its phase predictable is called coherence time.

These two are related by $l_{coh} = c\, t_{coh}$ Where c is velocity of light.

b. Spatial coherence:

Two waves are said to be spatially coherent if they maintain a constant phase difference at two different points in space at a given time.

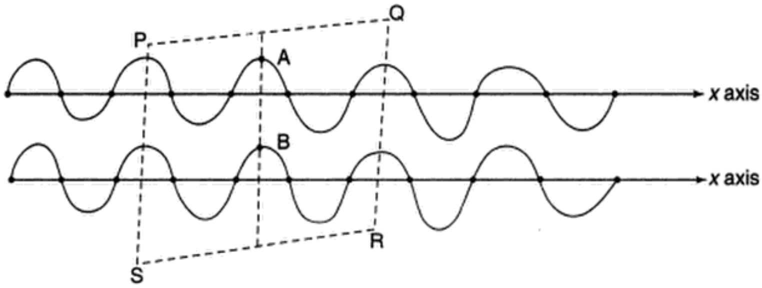


Fig: Spatial coherence

Here we study the phase relation between two waves perpendicular to the direction of motion of wave. Hence it is also called "**Transverse coherence**" or "**Lateral** (sideways) **coherence**".

Coherence area (A_{coh})**:** The area over which the light wave trains maintain their phase predictable is called coherence area.

Fig: Spatially and temporally coherent waves.

The coherence length of laser light is of the order of a few meters to kilo meters.

5.2 కాంతి-పదార్థ పరస్పర చర్య మరియు ఐన్‌స్టీన్ కోఎఫీషియంట్స్

ఆకస్మిక ఉద్గారం:

అణువు ప్రారంభంలో E_2 ఉత్తేజిత స్థితిలో ఉంటే, శక్తి యొక్క ఫోటాన్‌ను విడుదల చేయడం ద్వారా అది తనంతట తానుగా E_1 దిగువ స్థితికి రావచ్చు. దీనిని స్పాంటేనియస్ ఎమిషన్ అంటారు. యొక్క సంభావ్యత$h\nu = E_2 - E_1$

ఆకస్మిక ఉద్గారాలు 1 మరియు 2 స్థాయిల లక్షణాలపై మాత్రమే ఆధారపడి ఉంటాయి.

$$P'_{21} = A_{21}$$

ఇక్కడ$A_{21} Einstein's\ coefficient\ of\ spontaneous\ emission.$

ఉద్దీపన ఉద్గారాలు:

ప్రేరేపిత లేదా ప్రేరేపిత ఉద్గారాల అవకాశాన్ని గుర్తించిన మొదటి వ్యక్తి ఐన్‌స్టీన్. $h\nu = E_2 - E_1$ శక్తి కలిగిన ఫోటాన్ అప్పటికే ఉత్తేజిత E_2 స్థితిలో ఉన్న అణువుతో సంకర్షణ చెందితే, అది E_2 స్థితి నుండి E_1 కి పరివర్తనను ప్రేరేపిస్తుంది. రెండు ఉద్గార ఫోటాన్లు ఒకే దశలో ఉంటాయి. దీనిని స్టిమ్యులేటెడ్ ఎమిషన్ అంటారు. ఈ ప్రేరేపిత ఉద్గారాల సంభావ్యత ఇన్సిడెంట్ రేడియేషన్ యొక్క శక్తి సాంద్రత $u(\nu)$ పై ఆధారపడి ఉంటుంది.

$$P''_{21} = B_{21} u(\nu)$$

ఇక్కడ$B_{21} Einstein's\ coefficient\ of\ stimulated\ emission$

E_2 నుండి E_1 కి ఉద్గార పరివర్తన యొక్క మొత్తం సంభావ్యత ద్వారా ఇవ్వబడింది

$$P_{21} = P'_{21} + P''_{21} = A_{21} + B_{21} u(\nu)$$

ఐన్‌స్టీన్ గుణకాల మధ్య సంబంధం:

భూమి స్థితి E_1 లో అణువుల సంఖ్య N_1 మరియు ఉత్తేజిత స్థితి E_2 లో అణువుల సంఖ్య N_2 ఉండనివ్వండి. అప్పుడు స్థితి 1 నుండి 2 వరకు శోషక పరివర్తన సంభావ్యత

$$N_1 P_{12} = N_1 B_{12} u(\nu)$$

స్థితి 2 నుండి 1కి ఉద్గార పరివర్తన యొక్క మొత్తం సంభావ్యత

$$N_2 P_{21} = N_2 [A_{21} + B_{21} u(\nu)]$$

ఉష్ణ సమతుల్యత వద్ద, శోషణ సంభావ్యత మరియు ఉద్గార సంభావ్యత రెండూ సమానంగా ఉంటాయి.

కాబట్టి

$$N_1 P_{12} = N_2 P_{21}$$

$$\Rightarrow \quad N_1 B_{12} u(\nu) = N_2 [A_{21} + B_{21} u(\nu)]$$

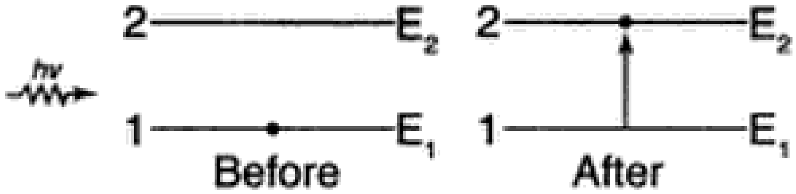
Intensity:

As the laser beam is very narrow, almost all of its energy is highly concentrated into a small region. A typical laser output of $10^{-3} W$ can produce $\sim 10^{24} - 10^{34}\ photons/m^2/s$, whereas a black body at $1{,}000 K$ can produce only $\sim 10^{16}\ photons/m^2/s$.

5.2 Light-Matter interaction and Einstein Coefficients

When light falls on any material, it interacts with the material medium and this phenomenon is termed as light-matter interaction. There are three possible processes that take place during light-matter interaction. For that, consider a two level system with energies E_1 and E_2 respectively, separated by an energy $\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$. Here ν is the frequency of the radiation/photon which can induce a transition between the two states. The three possible processes are as follows.

Stimulated absorption:



If an atom is in the state E_1, it can be raised to higher energy level E_2 by the absorption of photon of energy $h\nu = E_2 - E_1$. The probability of stimulated absorption from state 1 to state 2 is proportional to the energy density $u(\nu)$ of the incident radiation.

$$P_{12} = B_{12}\, u(\nu)$$

Here B_{12} is $Einstein's\ coefficient\ for\ stimulated\ absorption$.

Spontaneous emission:

దీని నుండి బాహ్య ఏజెంట్ యొక్క లక్షణం, రేడియేషన్ యొక్క శక్తి సాంద్రత,

$$\Rightarrow \quad N_1 B_{12} u(\nu) - N_2 B_{21} u(\nu) = N_2 A_{21}$$

$$\Rightarrow \quad u(\nu) = \frac{N_2 A_{21}}{N_1 B_{12} - N_2 B_{21}}$$

$$\Rightarrow \; u(\nu) = \frac{A_{21}}{\frac{N_1}{N_2} B_{12} - B_{21}}$$

బోల్ట్జ్మాన్ యొక్క పంపిణీ నియమం నుండి,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{e^{-E_1/kT}}{e^{-E_2/kT}} = e^{\,(E_2 - E_1)/kT} = e^{h\nu/kT}$$

$$\Rightarrow u(\nu) = \frac{A_{21}}{B_{12} e^{h\nu/kT} - B_{21}} = \frac{A_{21}}{B_{21}\left[\frac{B_{12}}{B_{21}} e^{h\nu/kT} - 1\right]}$$

ప్లాంక్ యొక్క రేడియేషన్ చట్టం నుండి,

$$u(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

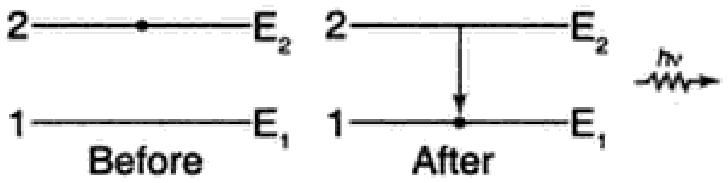
పై రెండు సమీకరణాలను పోల్చి చూస్తే,

$$B_{12} = B_{21}$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}$$

పై రెండు సమీకరణాలు మూడు ఐన్స్టీన్ గుణకాల మధ్య సంబంధాన్ని తెలియజేస్తాయి. పై రెండు సంబంధాల నుండి ఈ క్రింది తీర్మానాలు తీసుకోవచ్చు.

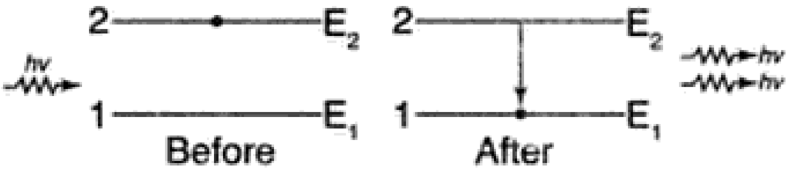
1. ప్రేరేపిత శోషణ సంభావ్యత ఉద్దీపన ఉద్గారాల మాదిరిగానే ఉంటుంది. అనగా; అదే ఫోటాన్ ఉద్గార మరియు శోషణ ప్రక్రియల రెండింటికీ బాధ్యత వహిస్తుంది.
2. $A_{21} \propto \nu^3$ సంఘటన రేడియేషన్ యొక్క ఫ్రీక్వెన్సీతో ఆకస్మిక ఉద్గారాల సంభావ్యత పెరుగుతుందని ఇది సూచిస్తుంది. అనగా, పరమాణువులు ఎక్కువ మరియు అధిక ఉత్తేజిత స్థితులలో (పెద్దవి) ఉన్నందున, ఆకస్మిక ఉద్గారానికి ఎక్కువ సంభావ్యత ఉంటుంది.ν
3. $A_{21}/B_{21} \propto \nu^3$ పరమాణువులు అధిక మరియు అధిక శక్తి స్థాయిలకు ఉత్తేజితం కావడం వల్ల ఆకస్మిక ఉద్గార ప్రక్రియ ఆధిపత్యం చెలాయిస్తుంది. అందువల్ల భూమి స్థితికి దగ్గరగా ఉన్న లేజర్ స్థాయిలను ఎంచుకోవాలని సూచించబడింది.



If the atom is initially in an excited state E_2, it can come down to lower state E_1 on its own by emitting a photon of energy $h\nu = E_2 - E_1$. This is known as spontaneous emission. The probability of

spontaneous emission depends only on the properties of states 1 and 2.

$$P'_{21} = A_{21}$$



Here A_{21} is $Einstein's\ coefficient\ of\ spontaneous\ emission$.

Stimulated emission:

Einstein was the first to identify the possibility of induced or stimulated emission. If a photon of energy $h\nu = E_2 - E_1$ interacts with an atom which is already in the excited state E_2, it will **induce** the transition from the state E_2 to E_1. The two emitted photons will be in same phase. This is known as stimulated emission. The probability of this stimulated emission depends on the energy density $u(\nu)$ of the incident radiation.

$$P''_{21} = B_{21}u(\nu)$$

Here B_{21} is $Einstein's\ coefficient\ of\ stimulated\ emission$.

The total probability of emission transition from E_2 to E_1 is given by

$$P_{21} = P'_{21} + P''_{21} = A_{21} + B_{21}u(\nu)$$

Relation between Einstein coefficients:

Let there be N_1 number of atoms in the ground state E_1 and N_2 number of atoms in the excited state E_2. Then the probability of an absorptive transition from state 1 to 2 is given by

$$N_1 P_{12} = N_1 B_{12} u(\nu)$$

The total probability of emissive transition from state 2 to 1 is given by

$$N_2 P_{21} = N_2[A_{21} + B_{21}u(\nu)]$$

At thermal equilibrium, the absorption probability and emission probability are both equal. Thus we can write,

$$N_1 P_{12} = N_2 P_{21}$$

$$\Rightarrow \quad N_1 B_{12} u(\nu) = N_2[A_{21} + B_{21}u(\nu)]$$

From this the characteristic of the external agent, namely the energy density of radiation is obtained as,

$$\Rightarrow \quad N_1 B_{12} u(\nu) - N_2 B_{21} u(\nu) = N_2 A_{21}$$

$$\Rightarrow \quad u(\nu) = \frac{N_2 A_{21}}{N_1 B_{12} - N_2 B_{21}}$$

$$\Rightarrow u(\nu) = \frac{A_{21}}{\frac{N_1}{N_2} B_{12} - B_{21}}$$

From Boltzmann's distribution law, one can write

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{e^{-E_1/kT}}{e^{-E_2/kT}} = e^{\,(E_2 - E_1)/kT} = e^{h\nu/kT}$$

$$\Rightarrow u(\nu) = \frac{A_{21}}{B_{12} e^{h\nu/kT} - B_{21}} = \frac{A_{21}}{B_{21}\left[\frac{B_{12}}{B_{21}} e^{h\nu/kT} - 1\right]}$$

From Plank's radiation law, we have

$$u(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Comparing the above two equations, one can get

$$B_{12} = B_{21}$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}$$

The above two equations give the relation between the three Einstein coefficients. The following conclusions may be drawn from the above two relations.

4. The probability of stimulated absorption is same as that of stimulated emission. i.e.; the same photon may stand responsible for both the emission and absorption processes.
5. $A_{21} \propto \nu^3$ which implies that the probability of spontaneous emission increases with the frequency of the incident radiation. i.e., as the atoms are in higher and higher excited states (larger ν), the more probable is the spontaneous emission.
6. $A_{21}/B_{21} \propto \nu^3$ which means that the spontaneous emission process dominates as the atoms are excited to higher and higher energy levels. Thus it is suggestible to choose laser levels nearer to ground state.

5.3 Population Inversion

Consider a two level system with energies E_1 and E_2 containing N_1 and N_2number of particles respectively. Let N_0 be the total number of particles, then the total number of particles in the states E_1 and E_2 are given by

$$N_1 = N_0\, e^{-E_1/kT}$$

$$N_2 = N_0\, e^{-E_2/kT}$$

Here it is assumed that temperature is the only mechanism to excite the particles to higher energy levels.

In the above equations, since $E_2 > E_1 \Rightarrow N_2 < N_1$.

i.e., in general lower energy levels will have higher population. The situation where the population of lower energy level is more than the population of the higher energy level is known as population

5.3 జనాభా విలోమం

శక్తులు E_1 మరియు E_2 కలిగి ఉన్న మరియు వరుసగా N_1 కణాల N_2 సంఖ్యతో రెండు స్థాయి వ్యవస్థను పరిగణించగలరు . మొత్తం కణాల సంఖ్య N_0, ఆపై E_1, E_2 స్థాయిల లోని మొత్తం కణాల సంఖ్య మరియు ఇవ్వబడినవి

$$N_1 = N_0\, e^{-E_1/kT}$$
$$N_2 = N_0\, e^{-E_2/kT}$$

కణాలను అధిక శక్తి స్థాయిలకు ఉత్తేజపరిచే ఏకైక యంత్రాంగం ఉష్ణోగ్రత అని ఇక్కడ భావించబడుతుంది.

పై సమీకరణాలలో, నుండి .$E_2 > E_1 \Rightarrow N_2 < N_1$

అనగా, సాధారణంగా తక్కువ శక్తి స్థాయిలు అధిక జనాభాను కలిగి ఉంటాయి. తక్కువ శక్తి స్థాయి జనాభా అధిక శక్తి స్థాయి జనాభా కంటే ఎక్కువగా ఉన్న పరిస్థితిని జనాభా విలోమం అంటారు. తక్కువ శక్తి స్థాయితో పోలిస్తే అధిక శక్తి స్థాయి జనాభాను పెంచే ప్రక్రియను పంపింగ్ అంటారు.

సిస్టమ్ యొక్క క్లాసికల్ గ్రౌండ్ స్టేట్ సాధారణంగా సున్నా శక్తిని కలిగి ఉంటుంది. ఆ సందర్భంలో, గ్రౌండ్ స్టేట్‌లోని కణాల సంఖ్య, .$N_1 = N_0 e^{-0} = N_0$

ఉష్ణోగ్రత చాలా ఎక్కువ విలువలకు పెరిగితే, అన్ని కణాలు అధిక శక్తి స్థాయికి ఉత్తేజితమవుతాయి, ఆ సందర్భంలో, .$N_2 = N_0 e^{-E_2/\infty} = N_0 e^{-0} = N_0$

ఈ విధంగా రెండు విపరీతాలలో, అన్ని కణాలు వరుసగా భూమి స్థితిలో లేదా ఉత్తేజిత స్థితిలో ఉంటాయి. కానీ సిస్టమ్ యొక్క సమతౌల్య ఆక్రుతీకరణను పరిగణనలోకి తీసుకుంటే, అప్పుడు భూమి స్థితి మరియు ఉత్తేజిత స్థితి రెండూ సమాన సంఖ్యలో కణాలను కలిగి ఉంటాయి. అనగా; $N_1 = N_2 = N_0/2$. అందువల్ల రెండు స్థాయిల వ్యవస్థలో సగానికి పైగా అణువులను అధిక శక్తి స్థాయికి ఉత్తేజపరచలేరు. అందువల్ల జనాభా విలోమాన్ని సాధించడానికి, వ్యవస్థలో కనీసం మూడు శక్తి స్థాయిలు ఉండాలి.

5.4 లేజర్ సూత్రం

లేజర్ భాగాలు:

చిత్రంలో చూపిన విధంగా ఏదైనా లేజర్ వ్యవస్థ మూడు ప్రధాన భాగాలను కలిగి ఉంటుంది.

1. శక్తి వనరు:

లేజర్ చర్యను పొందడానికి, సిస్టమ్‌లో జనాభా విలోమాన్ని కలిగి ఉండాలి. దాని కోసం పరమాణువులు అధిక శక్తి స్థాయిలకు ఉత్తేజితం కావాలి. ఈ శక్తి వనరు ఏదైనా ఆప్టికల్ లేదా ఎలక్ట్రికల్ లేదా రసాయన ప్రక్రియ నుండి పొందవచ్చు. లేజర్ వ్యవస్థ యొక్క ఈ భాగం పంపింగ్ మెకానిజం వలె పనిచేస్తుంది, ఇది జనాభా విలోమానికి అవసరం.

inversion. The process of increasing the population of higher energy level compared to the lower energy level is known as pumping.

Classical ground state of the system has zero energy usually. In that case, the number of particles in the ground state will be, $N_1 = N_0 e^{-0} = N_0$.

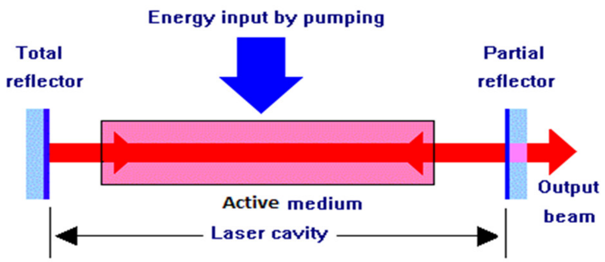
If the temperature is increased to extremely high values, so that all particles get excited to higher energy level, in that case, $N_2 = N_0 e^{-E_2/\infty} = N_0 e^{-0} = N_0$.

Thus in both the extremes, all the particles will be either in ground state or in excited state respectively. But if equilibrium configuration of the system is considered, then both ground state and excited state will have equal number of particles. i.e.; $N_1 = N_2 = N_0/2$. Thus one can't excite more than half of the atoms to higher energy level in a two level system. Hence in order to achieve population inversion, one needs to have at least three energy levels in the system.

5.4 Laser Principle

Components of laser:

Any laser system contains three major components as shown in the figure.



1. Energy source:

To get the laser action, we must have population inversion in the system. For that atoms must be excited to higher energy levels. This energy source can be obtained from any optical or electrical or chemical process. This portion of the laser system acts

1. క్రియాశీల మాధ్యమం:

ఉద్దీపన ఉద్గారాలు జరిగే మాధ్యమం ఇది. మూలం నుండి శక్తిని తీసుకున్న తర్వాత, అణువులు మరియు కణాలు ఉత్తేజితమవుతాయి. డి-ఎక్సైటేషన్ ప్రక్రియలో, లేజర్ కాంతిని ఇచ్చే ఉత్తేజిత ఉద్గారాలు జరుగుతుంది. క్రియాశీల మాధ్యమం యొక్క రకాన్ని బట్టి, మనకు ఘన స్థితి, ద్రవ స్థితి, వాయు మరియు సెమీకండక్టర్ లేజర్‌లు ఉంటాయి.

2. ఆప్టికల్ కేవిటీ లేదా రెసొనేటర్:

క్రియాశీల మాధ్యమం రెండు ప్రతిబింబించే ఉపరితలాల మధ్య చుట్టబడి ఉంటుంది. రెండింటిలో ఒకటి సంపూర్ణంగా ప్రతిబింబిస్తుంది మరియు మరొకటి పాక్షికంగా ప్రతిబింబిస్తుంది. క్రియాశీల మాధ్యమంపై ఆధారపడి, ప్రతిధ్వని కుహరంగా ఉపయోగించే అద్దాలు, బ్రూస్టర్ ప్రిజమ్స్ ఉన్నాయి. సెమీకండక్టర్ లేజర్‌లో క్రియాశీల మాధ్యమం యొక్క ముగింపు ఉపరితలాలు పాలిష్ చేసిన తర్వాత అనునాదం గా పని చేస్తాయి. క్రియాశీల మాధ్యమంలో, మనము ఒక పాస్‌లో తగినంత తీవ్రత లేజర్ కాంతిని పొందలేము మరియు క్రియాశీల మాధ్యమం యొక్క పొడవు పెరిగితే మనము జనాభా విలోమాన్ని ఏకరీతిగా నిర్వహించలేము. పదేపదే ప్రతిబింబించడం ద్వారా ఈ కష్టాన్ని అధిగమించడంలో అనునాద కుహరం సహాయపడుతుంది. అందువలన అనునాద కుహరం ప్రభావవంతంగా (కాంతి పుంజం యొక్క బహుళ మార్గాల కారణంగా) క్రియాశీల మాధ్యమం యొక్క పొడవును పెంచుతుంది. సరైన నిర్మాణాత్మక జోక్యం మరియు విస్తరణ కోసం కుహరం యొక్క పొడవు తప్పనిసరిగా $\lambda/2$ పూర్ణాంకం గుణకారంగా ఉండాలి. రెండు ప్రతిబింబించే ఉపరితలాలు ఉన్నందున, ప్రవేశపెట్టిన మొత్తం దశ వ్యత్యాసం $\pi + \pi = 2\pi$. దీనిని సున్నాగా పరిగణించవచ్చు.

లేజర్ సూత్రం:

లేజర్ యొక్క ప్రాథమిక పని మూడు దశలను కలిగి ఉంటుంది.

1. పంపింగ్:

పంపింగ్ అనేది సక్రియ మాధ్యమంలోని పరమాణువులు (మెటాస్టేబుల్ స్థితులతో ఉన్న పరమాణువులు) తగిన మొత్తంలో శక్తిని సరఫరా చేయడం ద్వారా మెటాస్టేబుల్ స్థితులకు ఉత్తేజితమయ్యే ప్రక్రియ. క్రియాశీల మాధ్యమం యొక్క పదార్థం యొక్క స్థితిని బట్టి పంపింగ్ యొక్క వివిధ సాధ్యమైన పద్ధతులు ఉన్నాయి. ఘన మరియు ద్రవ పదార్థాల కోసం, ఆప్టికల్ పంపింగ్ ప్రాధాన్యత ఇవ్వబడుతుంది. అధిక శక్తి పల్సెడ్ అవుట్‌పుట్‌ల కోసం జినాన్ ఫ్లాష్‌ని ఉపయోగించడం ద్వారా ఆప్టికల్ పంపింగ్ చేయబడుతుంది, అయితే ఆర్క్ ల్యాంప్‌లు నిరంతర మరియు మితమైన అవుట్‌పుట్‌ల కోసం ఉపయోగించబడతాయి. అధిక తరంగదైర్ఘ్యం లేజర్‌లను ఉత్పత్తి చేయడానికి లేజర్ కాంతిని పంపింగ్ మూలంగా కూడా ఉపయోగిస్తారు. యాక్టివ్ మీడియం అంతటా కాంతి ఏకరీతిలో పంపిణీ చేయబడాలి. ద్రవ పదార్థాల కోసం, రసాయన పంపింగ్ కొన్నిసార్లు ఉపయోగించబడుతుంది

as the pumping mechanism, which is essential for population inversion.

2. Active medium:

This is the medium where stimulated emission takes place. After taking energy from the source, atoms and molecules will get excited. In the de-excitation process, stimulated emission takes place which gives laser light. Depending on the type of active medium, we have solid state, liquid state, gaseous and semiconductor lasers.

3. Optical cavity or resonator:

The active medium is enclosed between two reflecting surfaces. Out of the two, one is perfectly reflecting and the other one is partially reflecting. Depending on the active medium, there are mirrors, Brewster prisms that are used as resonance cavity. In semiconductor laser the end surfaces of the active medium itself acts as a resonator after polishing. In an active medium, we can not get sufficient intensity laser light in one pass and we can not maintain population inversion uniformly if the length of the active medium increases. Resonance cavity helps in overcoming this difficulty by repeated reflections. Thus resonance cavity effectively (due to multiple passages of the light beam) increases the length of the active medium. The length of the cavity must be an integer multiple of $\lambda/2$ for proper constructive interference and amplification. Since there are two reflecting surfaces, the total phase difference introduced will be $\pi + \pi = 2\pi$. This can be considered as zero.

వాయు పదార్థాల కోసం, విద్యుత్ పంపింగ్ సాధారణంగా ప్రాధాన్యతనిస్తుంది. గ్యాస్ డైనమిక్ పంపింగ్ సిస్టమ్‌లో, వాయు పదార్థం అధిక పీడనాలకు కుదించబడుతుంది. ఇది అణువులను ఉత్తేజపరిచే ఉష్ణోగ్రత పెరుగుదలకు కారణమవుతుంది. అప్పుడు వాయువు అడియాబాటిక్‌గా (అకస్మాత్తుగా) విస్తరించబడుతుంది. ఈ అడియాబాటిక్ ప్రక్రియ ఆకస్మిక శీతలీకరణను ఉత్పత్తి చేస్తుంది, ఇది అకస్మాత్తుగా లేజర్ కాంతిని ఉత్పత్తి చేయడానికి అణువులను ఉత్తేజపరుస్తుంది. కొన్నిసార్లు అణు శక్తి లేదా ప్రత్యక్ష సౌర కాంతి శక్తి కూడా లేజర్‌లను పంప్ చేయడానికి ఉపయోగించబడుతుంది.

2. జనాభా విలోమం

తగినంత పెద్ద సంఖ్యలో పరమాణువులు మెటాస్టేబుల్ స్థితికి ఉత్తేజితం అయినప్పుడు, జనాభా విలోమం జరుగుతుంది. జనాభా విలోమం ఉన్నప్పుడే, యాంప్లిఫికేషన్ జరుగుతుంది. ఎందుకంటే ఉద్దీపన ఉద్గారాలు మరియు ఉత్తేజిత శోషణ రేట్లు ఒకే విధంగా ఉంటాయి, శోషణ కంటే ఉద్గారానికి ఎక్కువ పరమాణువులు అందుబాటులో ఉన్నట్లయితే మాత్రమే అవుట్‌పుట్ కాంతి యాంప్లిట్యూడ్ పెరుగుతుంది.

3. ఆకస్మిక ఉద్గారం

సిస్టమ్‌లోని మొదటి ఫోటాన్‌ను విడుదల చేయడానికి మెటాస్టేబుల్ స్థితి నుండి ఆకస్మిక ఉద్గారాలు జరగాలి.

4. ఉద్దీపన ఉద్గారం

ఒకసారి ఆకస్మిక ఉద్గారాలు జరిగితే, మరింత ఫోటాన్ ఉద్గారాలు ఉత్తేజిత ఉద్గారాల ద్వారా జరుగుతాయి. ఈ ప్రక్రియలో, ఒక ఫోటాన్ అదనపు ఫోటాన్‌ను విడుదల చేయడానికి ఉత్తేజిత అణువును క్రిందికి నెట్టివేస్తుంది. ఈ విధంగా ఒక ఫోటాన్ రెండు, రెండు ఫోటాన్లు 4 ఫోటాన్లు మొదలైనవి ఉత్పత్తి చేస్తాయి మరియు ఈ ప్రక్రియ హిమపాతం వలె ఫోటాన్లను ఉత్పత్తి చేస్తుంది.

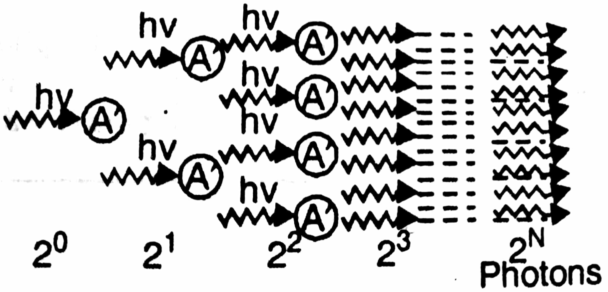
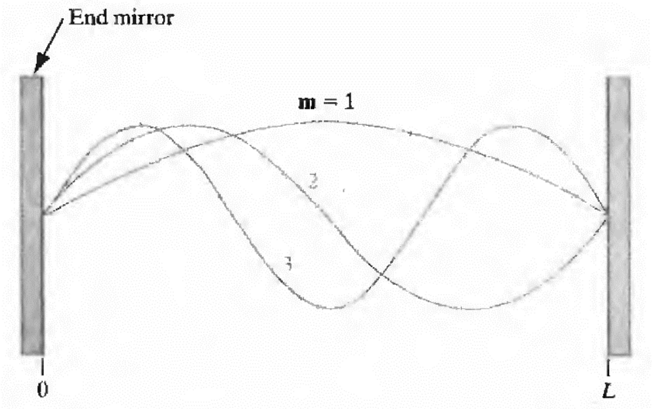


Fig: Stimulated emission avalanche



Laser Principle:

The basic working of laser involves three stages.

1. Pumping:

Pumping is the process where the atoms in the active medium (atoms with metastable states) are excited to metastable states, by supplying suitable amount of energy. There are various possible methods of pumping depending on the state of the material of the active medium. For solid and liquid materials, optical pumping is preferred. Optical pumping is done by using Xenon flash for high power pulsed outputs while arc lamps are used for continuous and moderate outputs. Laser light is also used as pumping source to generate higher wavelength lasers. The light must be distributed uniformly throughout the active medium. For liquid materials, chemical pumping is sometimes used. For gaseous materials, electrical pumping is usually preferred. In gas dynamic pumping system, gaseous material is compressed to high pressures. This causes a rise in temperature that excites atoms. Then the gas is expanded adiabatically (suddenly). This adiabatic process produces sudden cooling that suddenly de-excites atoms to produce laser light. Sometimes nuclear energy or direct solar light energy is also used to pump lasers.

2. Population inversion

When sufficiently large number of atoms are excited to metastable state, population inversion takes place. Only when

population inversion exists, does the amplification take place. This is because stimulated emission and stimulated absorption rates are same, the amplitude of output light increases if and only if there are more atoms available for emission than absorption.

3. Spontaneous emission

Spontaneous emission should take place from metastable state to release the first photon in the system.

4. Stimulated emission

Once spontaneous emission takes place, further photon emissions take place by stimulated emission. In this process, one photon pushes down an excited atom to release an additional photon. Thus one photon produces two, two photons produce 4 photons etc. and the process produces an avalanche of photons.

5.5 Ruby Laser

Ruby laser is the first laser developed in 1960 by Theodore Herald Maiman. The major parts of ruby laser are as explained.

1. Active medium:

In ruby laser the active medium is the Ruby crystal cut in the shape of a rod. The ruby crystal is an Al_2O_3 crystal with 0.05% of Al^{+3} ions are replaced by Cr^{+3} ions. Here the energy levels of Cr^{+3} ions have metastable states, where population inversion occurs and lasing action takes place.

2. Energy source:

The energy source consists of a xenon flash lamp which emits green light at 5500Å. The xenon tube lamp is wrapped around the ruby rod. The output of xenon lamp is in the form of millisecond pulses and power is a few megawatts. Due to this high power output, the ruby rod may get heated up. Hence the whole arrangement is placed in a circulating water bath/liquid nitrogen bath to keep the system cool. Now a days the lamps are enclosed by concave mirrors to increase the light exposure to ruby rod.

3. The resonance cavity:

The resonance cavity is obtained by polishing the ends of ruby rod. The ends are made optically parallel and then a fully reflecting mirror is placed at one end and another partially reflecting mirror is placed at the other end.

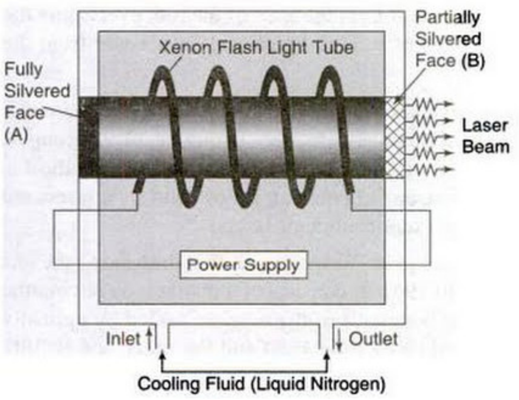


Fig: Ruby laser block diagram

4. The laser action:

The energy level diagram of Cr^{+3} ion is as shown in the below figure. It is a three level laser system. The chromium ion absorbs green light (5500Å) from xenon flash or any blue light (4000Å) from alternative sources and goes to excited states T_2 and T_1 respectively. They give a part of the energy to the crystal in the form of heat and reach a meta-stable state ${}^2E$. Thus the number of ions in the ground state keeps on decreasing due to pumping and number of ions in the metastable state keeps on increasing due to long life time. Finally population inversion is established between the metastable and ground state.

When any ion from this metastable state comes to ground state spontaneously, it will start further stimulated emissions. The laser light has two wavelengths 6943Å and 6929Å. Out of these two, 6943Å only gets amplified by the resonance cavity as the length of the cavity is selected suitable for this wavelength.

5.5 రూబీ లేజర్

రూబీ లేజర్ 1960లో థియోడర్ హెరాల్డ్ మైమన్ చే అభివృద్ధి చేయబడిన మొదటి లేజర్. రూబీ లేజర్ యొక్క ప్రధాన భాగాలు వివరించబడ్డాయి.

1. క్రియాశీల మాధ్యమం:

రూబీ లేజర్‌లో సక్రియ మాధ్యమం రాడ్ ఆకారంలో కత్తిరించిన రూబీ క్రిస్టల్. రూబీ క్రిస్టల్ అనేది Al^{+3} అయాన్ల స్థానంలో 0.05% Cr^{+3} అయాన్లతో కూడిన Al_2O_3 క్రిస్టల్. ఇక్కడ Cr^{+3} అయాన్ల శక్తి స్థాయిలు మెటాస్టేబుల్ స్థితులను కలిగి ఉంటాయి, ఇక్కడ జనాభా విలోమం సంభవిస్తుంది మరియు లేసింగ్ చర్య జరుగుతుంది.

2. శక్తి వనరు:

శక్తి మూలం జినాన్ ఫ్లాష్ ల్యాంప్‌ను కలిగి ఉంటుంది, ఇది 5500Å వద్ద ఆకుపచ్చ కాంతిని ప్రసరిస్తుంది. జినాన్ ట్యూబ్ దీపం రూబీ రాడ్ చుట్టూ చుట్టబడి ఉంటుంది. జినాన్ దీపం యొక్క అవుట్‌పుట్ మిల్లీసెకన్ల పల్సుల రూపంలో ఉంటుంది మరియు శక్తి కొన్ని మెగావాట్లు. ఈ అధిక పవర్ అవుట్‌పుట్ కారణంగా, రూబీ రాడ్ వేడెక్కవచ్చు. అందువల్ల వ్యవస్థను చల్లగా ఉంచడానికి మొత్తం అమరికను ప్రసరించే నీటి స్నానం/ద్రవ నైట్రోజన్ బాత్‌లో ఉంచారు. ఇప్పుడు రోజుల్లో రూబీ రాడ్‌కు కాంతిని బహిర్గతం చేయడానికి దీపాలను ఫుటాకార అద్దాల ద్వారా మూసివేస్తున్నారు.

3. రెసోనెన్స్ కుహరం:

రూబీ రాడ్ చివరలను పాలిష్ చేయడం ద్వారా రెసోనెన్స్ కుహరం పొందబడుతుంది. చివరలను ఆప్టికల్‌గా సమాంతరంగా చేసి, ఒక చివర పూర్తిగా ప్రతిబింబించే అద్దం మరియు మరొక చివర పాక్షికంగా ప్రతిబింబించే అద్దం ఉంచబడుతుంది.

1. లేజర్ చర్య:

Cr^{+3} అయాన్ యొక్క శక్తి స్థాయి రేఖాచిత్రం క్రింది చిత్రంలో చూపిన విధంగా ఉంటుంది. ఇది మూడు స్థాయి లేజర్ వ్యవస్థ. క్రోమియం అయాన్ లేదా ఏదైనా ప్రత్యామ్నాయ మూలాల నుండి బ్లూ లైట్ (4000Å) జినాన్ ఫ్లాష్ నుండి ఆకుపచ్చ కాంతిని (5500Å) గ్రహిస్తుంది మరియు వరుసగా T_1, T_2 ఉత్తేజిత స్థితికి వెళుతుంది. అవి శక్తిలో కొంత భాగాన్ని స్ఫటికానికి వేడి రూపంలో అందిస్తాయి మరియు మెటా-స్థిర స్థితి ^2E కి చేరుకుంటాయి. ఈ విధంగా పంపింగ్ కారణంగా గ్రౌండ్ స్టేట్‌లోని అయాన్ల సంఖ్య తగ్గుతూనే ఉంటుంది మరియు సుదీర్ఘ జీవితకాలం కారణంగా మెటాస్టేబుల్ స్థితిలో అయాన్ల సంఖ్య పెరుగుతూనే ఉంటుంది. చివరగా మెటాస్టేబుల్ మరియు గ్రౌండ్ స్టేట్ మధ్య జనాభా విలోమం స్థాపించబడింది.

ఈ మెటాస్టేబుల్ స్థితి నుండి ఏదైనా అయాన్ ఆకస్మికంగా భూమి స్థితికి వచ్చినప్పుడు, అది మరింత ఉత్తేజిత ఉద్గారాలను ప్రారంభిస్తుంది. లేజర్ కాంతికి రెండు తరంగదైర్ఘ్యాలు ఉంటాయి 6929Å మరియు 6943Å. ఈ రెండింటిలో, కుహరం యొక్క పొడవు ఈ 6943Å తరంగదైర్ఘ్యానికి అనుకూలంగా ఎంపిక చేయబడినందున రెసోనెన్స్ కుహరం ద్వారా మాత్రమే విస్తరించబడుతుంది.

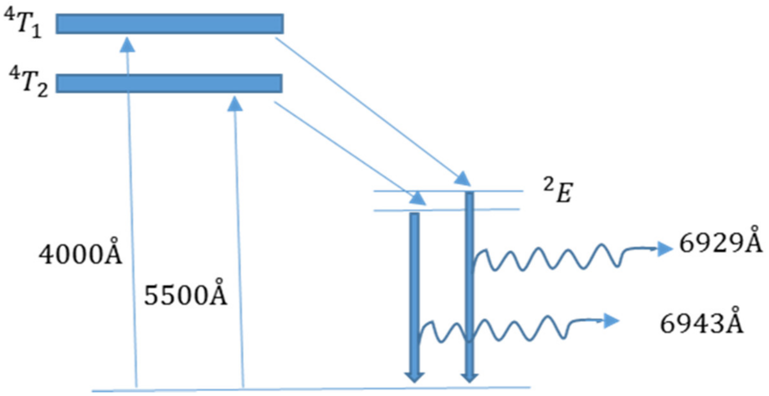


Fig: Ruby Laser Energy level diagram

Disadvantages:

1. Since the lower laser level is connected to ground state, one needs to excite more than 50% of the ions in a short span of time to achieve population inversion. This requires very high pumping energies.

2. Since more than 50% of ions will be in the excited state, one has to wait till they de-excite for next series of laser action to take place. Thus the laser output is pulsative.

3. Since the lower laser level is connected to ground state, there is a possibility of self-absorption which reduces the output intensity. Due to this, the efficiency of Ruby laser is about 1%.

5.5 రూబీ లేజర్

ప్రతికూలతలు:

1. దిగువ లేజర్ స్థాయి భూమి స్థితికి అనుసంధానించబడినందున, జనాభా విలోమాన్ని సాధించడానికి తక్కువ వ్యవధిలో 50% కంటే ఎక్కువ అయాన్ల ఉత్తేజితం కావాలి. దీనికి చాలా ఎక్కువ పంపింగ్ ఎనర్జీలు అవసరం.
2. 50% కంటే ఎక్కువ అయాన్లు ఉత్తేజిత స్థితిలో ఉంటాయి కాబట్టి, లేజర్ చర్య యొక్క తదుపరి శ్రేణి జరగడానికి అవి ఉత్తేజితమయ్యే వరకు వేచి ఉండాలి. కాబట్టి లేజర్ అవుట్‌పుట్ పల్సేటివ్‌గా ఉంటుంది.
3. దిగువ లేజర్ స్థాయి భూమి స్థితికి అనుసంధానించబడినందున, అవుట్‌పుట్ తీవ్రతను తగ్గించే స్వీయ-శోషణకు అవకాశం ఉంది. దీని కారణంగా, రూబీ లేజర్ యొక్క సామర్థ్యం సుమారుగా ఉంటుంది.1%

ప్రయోజనాలు:

1. ఇది చాలా తక్కువ సామర్థ్యాన్ని కలిగి ఉన్నప్పటికీ, అవుట్‌పుట్ పవర్ చాలా ఎక్కువగా ఉంటుంది. అందువలన ఇది డైమండ్ కట్టింగ్ మరియు వెల్డింగ్ కోసం కూడా ఉపయోగించబడుతుంది.
2. పల్సెడ్ అవుట్‌పుట్‌లో హోలోగ్రఫీ వంటి కొన్ని ప్రత్యేక అప్లికేషన్‌లు ఉన్నాయి.
3. ఇది సాలిడ్ స్టేట్ డివైజ్ కాబట్టి, ఇది చాలా తక్కువ నిర్వహణ ఖర్చును కలిగి ఉంటుంది మరియు మొరటుగా కూడా ఉపయోగించవచ్చు.

అప్లికేషన్లు:

1. రూబీ లేజర్‌లను డై లేజర్ కోసం పంపింగ్ సిస్టమ్‌గా ఉపయోగిస్తారు.
2. $Nd-YAG$ లేజర్‌ను కనుగొనే ముందు, పచ్చబొట్టు మరియు జుట్టు తొలగింపు కోసం రూబీ లేజర్‌ను ఉపయోగించారు.

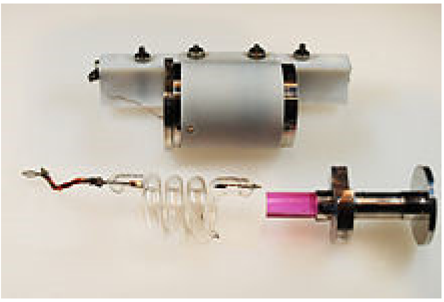


Fig: Components of original Ruby Laser

Think

Is it possible to generate continuous laser in 3 level system if top most level is chosen as laser level?

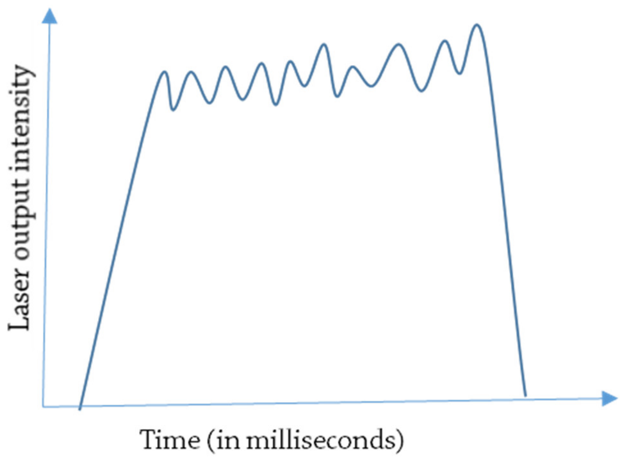


Fig: Ruby laser output intensity

Advantages:

4. Though it has very low efficiency, the output power is very high. Thus it is used for diamond cutting and welding also.
5. The pulsed output has some special applications like holography.
6. Since it is a solid state device, it has very low maintenance cost and can be used roughly also.

Applications:

3. Ruby lasers are used as pumping system for dye laser.
4. Before the discovery of $Nd - YAG$ laser, ruby laser was used for tattoo and hair removal.

5.6 Helium-Neon Laser

This is a low power, continuous wave laser developed in the year 1962 after the discovery of ruby laser.

Active medium:

Here the active medium is a mixture of helium and neon gases in the ratio 10: 1 filled in a quartz tube at a pressure of $0.1mm$

5.6 హీలియం-నియాన్ లేజర్

ఇది రూబీ లేజర్‌ను కనుగొన్న తర్వాత 1962 సంవత్సరంలో అభివృద్ధి చేయబడిన తక్కువ శక్తి, నిరంతర వేవ్ లేజర్.

క్రియాశీల మాధ్యమం:

ఇక్కడ క్రియాశీల మాధ్యమం నిష్పత్తిలో హీలియం మరియు నియాన్ వాయువుల $10:1$ మిశ్రమం $0.1mm$ పాదరసం ఒత్తిడితో క్వార్ట్జ్ ట్యూబ్‌లో నింపబడి ఉంటుంది. ఇక్కడ హీలియం మొదట ఉత్తేజపరుస్తుంది మరియు నియాన్‌కు శక్తిని సరఫరా చేస్తుంది, ఇక్కడ జనాభా విలోమం జరుగుతుంది.

శక్తి వనరు:

వాయువులు dc కరెంట్ లేదా rf AC కరెంట్ ద్వారా విద్యుత్ ఉత్సర్గను ఉపయోగించడం ద్వారా ఉత్తేజితమవుతాయి.

రెసోనెన్స్ కుహరం:

రెండు రకాలుగా రెసోనెన్స్ కుహరాన్ని పొందవచ్చు. ట్యూబ్‌కు ఇరువైపులా సమాంతరంగా ఉండే అద్దాలు లేదా కొన్ని సార్లు సరైన ధ్రువణత కోసం బ్రూస్టర్ ప్రిజమ్‌లు ఉపయోగించబడతాయి, ఎందుకంటే ట్యూబ్‌లోని ఎలక్ట్రిక్ డిశ్చార్జెస్ అద్దాలు దెబ్బతింటాయి.

లేజర్ చర్య:

హీలియం మరియు నియాన్ యొక్క శక్తి స్థాయి రేఖాచిత్రం క్రింద చూపబడింది.

ఇది నాలుగు స్థాయి లేజర్ వ్యవస్థకు ఉదాహరణ. హీలియం యొక్క శక్తి స్థాయిలు ఈ క్రింది విధంగా లేబుల్ చేయబడ్డాయి.

$$1s^2 \quad (\uparrow\downarrow) \rightarrow 1^1S_0$$
$$1s^1 2s^1 \; (\uparrow\uparrow) \rightarrow 2\ ^3S_1$$
$$1s^1 2s^1 \; (\uparrow\downarrow) \rightarrow 2\ ^1S_0$$

Electronic Configuration	Paschen Notation
$1s^2 2s^2 2p^6$	GROUND STATE
$1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$	1s
$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	2p
$1s^2 2s^2 2p^5 4s^1$	2s
$1s^2 2s^2 2p^5 4p^1$	3p
$1s^2 2s^2 2p^5 5s^1$	3s

నియాన్ అణువు యొక్క శక్తి స్థాయిలు.

of mercury. Here Helium excites first and supplies energy to Neon, where population inversion takes place.

Energy source:

The gases are excited by using electric discharge either by dc current or by rf ac current.

Resonance cavity:

The resonance cavity can be obtained by using two optically parallel mirrors on either side of the tube, or some times Brewster prisms are used for proper polarization as electric discharges in the tube may damage the mirrors.

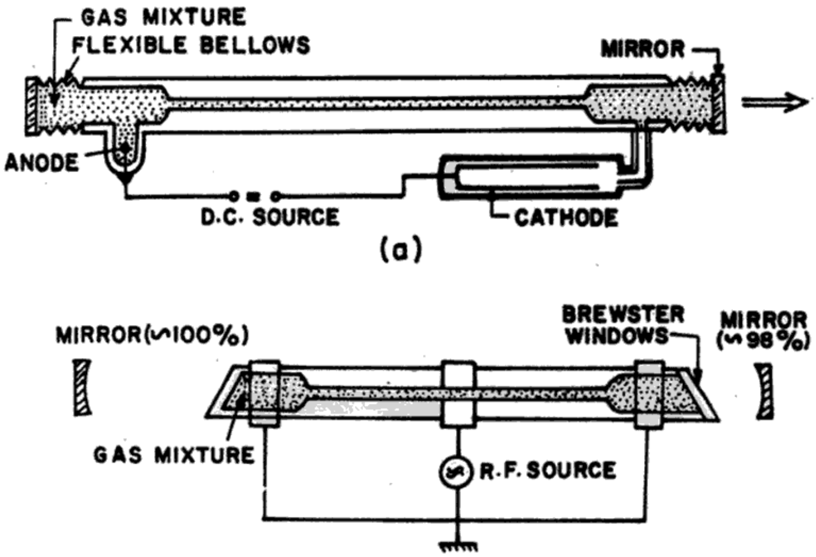


Fig: He-Ne laser Block diagram.

Laser action:

The energy level diagram of helium and neon are as shown below.

5.6 హీలియం-నియాన్ లేజర్

$2\ ^3S_1$ స్థాయి $2\ ^1S_0$ మరియు హీలియంలో మెటా-స్టేబుల్ స్టేట్స్. ఈ స్థితులకు ఉత్తేజిత పరమాణువులు ఢీకొనడం ద్వారా మాత్రమే డి-ఎక్సైట్ అవుతాయి. ఈ రెండు ఉత్తేజిత స్థాయిలు $20.61eV$ చుట్టూ ఉన్నాయి. ఈ శక్తి నియాన్‌కు బదిలీ చేయబడుతుంది మరియు నియాన్ పరమాణువులు $20.66eV$ చుట్టూ ఉన్న $3s$ లేదా $2s$ స్థితికి వెళతాయి. శక్తిలో వ్యత్యాసం తాకిడి ద్వారా వస్తుంది. నియాన్ యొక్క ఈ రెండు స్థాయిలు మళ్లీ మెటాస్టేబుల్ స్థితులు. ఈ రెండు మెటాస్టేబుల్ స్థితుల నుండి మూడు సాధ్యం లేజర్ పరివర్తనాలు ఉన్నాయి.

$$3s \to 2p \quad 6328\text{Å}$$

$$2s \to 2p \quad 11523\text{Å} \ (IR)$$

$$3s \to 3p \quad 33900\text{Å} \ (IR)$$

ఇక్కడ పరివర్తనం కనిపించే ప్రాంతం 6328Å లో మాత్రమే ఉంటుంది. రెసోనెన్స్ కుహరం యొక్క సరైన పొడవును ఎంచుకోవడం ద్వారా దీనిని మెరుగుపరచవచ్చు.

$2s$ స్థితి నుండి, అణువులు $1s$ స్థితికి వేగంగా పరివర్తన చెందుతాయి, ఇది మళ్లీ మెటాస్టేబుల్ స్థితి. అక్కడ నుండి అణువులు ఎలెక్ట్రిక్ ఫీల్డ్ ఎనర్జీని తీసుకోవడం ద్వారా మళ్లీ $2s$ స్థితికి ఉత్తేజితం కావచ్చు.

ఇది $2p$ స్థితిలో జనాభాను పెంచుతుంది మరియు జనాభా విలోమ పరిస్థితి విఫలమవుతుంది. దీనిని నివారించడానికి, ట్యూబ్ ఇరుకైనదిగా చేయబడుతుంది. దానితో, పరమాణువుల మధ్య విభజన తగ్గుతుంది, ఘర్షణల సంఖ్య పెరుగుతుంది మరియు పరమాణువులు $1s$ నుండి భూమి స్థితికి నిష్క్రమిస్తాయి.

ప్రయోజనాలు:

1. పంపింగ్ కోసం అధిక శక్తులు అవసరం లేదు. లేజర్ స్థాయిలు భూమి స్థితికి అనుసంధానించబడనందున, మెటాస్టేబుల్ స్థితిలో చాలా తక్కువ అణువులను ఉంచడం జనాభా విలోమ పరిస్థితిని సంతృప్తిపరుస్తుంది.
2. ఇది నిరంతర లేజర్. మెటాస్టేబుల్ స్థితిలో అతి తక్కువ సంఖ్యలో పరమాణువులతో జనాభా విలోమం సాధించబడుతుంది కాబట్టి, తదుపరి లేజర్ పరివర్తనాల కోసం మనము వాటి కోసం వేచి ఉండాల్సిన అవసరం లేదు.
3. ఇది తక్కువ శక్తి కలిగిన పరికరం కాబట్టి, దీని నిర్వహణ ఖర్చు చాలా తక్కువ.

ప్రతికూలతలు:

1. విద్యుత్ ఛార్జ్ పెంచడం లేదా ట్యూబ్ పొడవును పెంచడం ద్వారా కూడా అధిక శక్తి ఉత్పాదనలను సాధించలేము. ఎందుకంటే ఇది ఎగువ లేజర్ స్థాయి 33900Å ని తగ్గించే పరివర్తనను పెంచుతుంది మరియు జనాభా విలోమ విఫలమయ్యే పరిస్థితి.

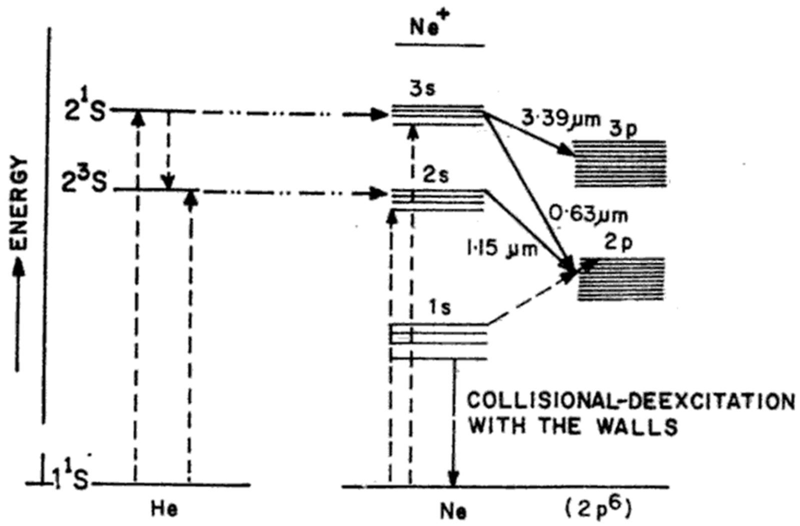


Fig: He-Ne laser energy level diagram.

This is an example of four level laser system. The energy levels of Helium are labeled as follows.

$$1s^2 \quad (\uparrow \ \ \downarrow) \rightarrow 1^1S_0$$

$$1s^1 2s^1 \, (\uparrow \ \ \uparrow) \rightarrow 2\ ^3S_1$$

$$1s^1 2s^1 \, (\uparrow \ \ \downarrow) \rightarrow 2\ ^1S_0$$

Electronic Configuration	Paschen Notation
$1s^2 2s^2 2p^6$	GROUND STATE
$1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$	1s
$1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$	2p
$1s^2 2s^2 2p^5 4s^1$	2s
$1s^2 2s^2 2p^5 4p^1$	3p
$1s^2 2s^2 2p^5 5s^1$	3s

The energy levels of Neon atom are

The $2\ ^3S_1$ level and $2\ ^1S_0$ are meta-stable states in Helium. The atoms excited to these states will de-exite only by collision. These

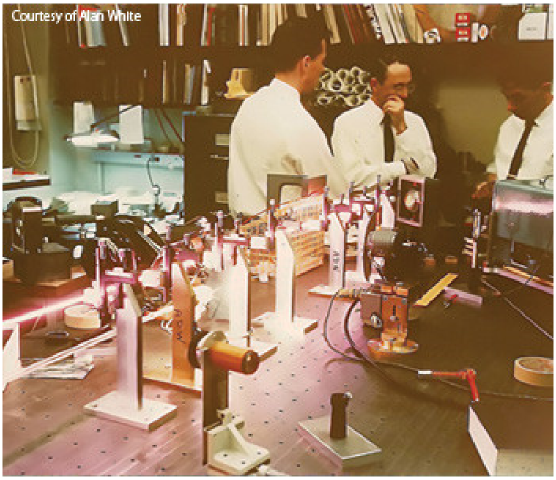
అప్లికేషన్లు:

1. ఇది ఇంటిగ్రేటెడ్ బార్ కోడ్ రీడర్‌లలో ఉపయోగించబడుతుంది.
2. ఇది లేజర్ శస్త్రచికిత్స మరియు లేజర్ కట్టింగ్‌లో ఉపయోగించబడుతుంది.
3. ఇది సర్వేయింగ్‌లో ఉపయోగించబడుతుంది, ఇది దాని సన్నని పుంజం వెడల్పు కారణంగా అధిక ఖచ్చితత్వాన్ని అందిస్తుంది.

4. https://www.google.co.in/books/edition/A_Course_Of_Experiments_With_He_Ne_Laser/tiXqqh85Nz8C?hl=en&gbpv=1
5. https://www.optica-opn.org/home/articles/volume_22/issue_10/features/recollections_of_the_first_continuous_visible_lase/
6. https://web.archive.org/web/20120618234059/http://technology.niagarac.on.ca/lasers/Chapter3.html

Think

Why Neon gas is not directly excited using electrical discharge in He-Ne laser?



(Left to right) Dane Rigden, Alan White and Bill Rigrod having a discussion in the laser lab at Bell Labs, 1963. The long HeNe laser on the bench is emitting about 80 milliwatts of power at 632.8 nm.

two excited levels lie at around $20.61eV$. This energy will be transferred to Neon and neon atoms go to $3s$ or $2s$ states that lie at around $20.66eV$. The difference in energy will come through collision. These two levels of Neon are again metastable states. There are three possible laser transitions from these two metastable states.

$$3s \rightarrow 2p \quad 6328\text{Å}$$

$$2s \rightarrow 2p \quad 11523\text{Å} \ (IR)$$

$$3s \rightarrow 3p \quad 33900\text{Å} \ (IR)$$

Here the 6328Å transition only lies in the visible region. This can be enhanced by choosing appropriate length of resonance cavity.

From $2s$ state, the atoms makes a rapid transition to $1s$ state which is again a metastable state. From there atoms may excite to $2s$ state again by taking electric field energy. This increases the population in $2p$ state and population inversion condition fails. To avoid this, the tube is made narrow. With that, separation between atoms reduces, number of collisions increase and the atoms will de-exite to ground state from $1s$.

Advantages:

4. High powers are not necessary for pumping. This is because laser levels are not connected to ground state, keeping a very few atoms in the metastable state will satisfy the condition for population inversion.
5. This is a continuous laser. Since population inversion is achieved with very low number of atoms in metastable state, we don't need to wait for them for further laser transitions.
6. Since it is a low power device, its maintenance cost is very low.

Disadvantages:

2. High power outputs cannot be achieved even by increasing electric charge or increasing length of the tube. Because it

5.7 లేజర్ల అప్లికేషన్లు

1. వైద్య రంగంలో కంటి శుక్లాలు, దంత శస్త్రచికిత్సలు, మొటిమల తొలగింపు మరియు ఇతర కాస్మెటిక్ సర్జరీలకు లేజర్‌లను ఉపయోగిస్తారు.
2. కాలుష్యాన్ని గుర్తించడం మరియు సూక్ష్మ నుండి నానో పరిమాణ పదార్థాల కణ పరిమాణం విశ్లేషణ కోసం లేజర్‌లు ఉపయోగించబడతాయి.
3. అల్ట్రాషార్ట్ పల్స్ లేజర్‌లను రేలీ పరిమితిని అధిగమించడం ద్వారా నానోమీటర్ మరియు ఫెమ్‌టోమీటర్ సైజ వస్తువులను చిత్రీకరించడానికి కనిపించే కాంతిని ఉపయోగించే ఫ్లోరోసెంట్ మైక్రోస్కోప్ లు ఆప్టికల్ ట్వీజర్‌లను, అభివృద్ధి చేయడానికి ఉపయోగించవచ్చు.
4. హై ఇంటెన్సిటీ లేజర్‌లు ఆప్టిక్స్‌లో కొత్త బ్రాంచ్‌ను అభివృద్ధి చేయడాన్ని వాస్తవంగా మార్చాయి, అవి అల్ట్రాఫాస్ట్ ఆప్టికల్ సెన్సార్‌లు మరియు హై రిజల్యూషన్ స్పెక్ట్రోస్కోపీలో అప్లికేషన్‌లను కనుగొనే నాన్-లీనియర్ ఆప్టిక్స్.
5. లేజర్ అబ్లేషన్ పద్ధతులు పారిశ్రామిక పదార్థాల మైక్రో డ్రిల్లింగ్‌లో అనువర్తనాలను కనుగొంటాయి.
6. డీప్ స్పేస్ నావిగేషన్ అప్లికేషన్‌ల కోసం లేజర్‌లను ఉపయోగించి అయాన్ డ్రైవ్ ఇంజిన్ లను అమలు చేయవచ్చు.
7. ఇంజినీరింగ్ రంగంలో లేజర్‌లు రాడార్ (లైట్ డిటెక్షన్ మరియు రేంజింగ్) అనే రాడార్ మాదిరిగానే గుర్తించడం మరియు సంచారము అప్లికేషన్‌ల కోసం ఉపయోగించబడతాయి.
8. ఆప్టికల్ డేటా డిస్క్‌లలో డేటా నిల్వ మరియు డేటా రిట్రీవల్ కోసం లేజర్‌లు ఉపయోగించబడతాయి.
9. ఆప్టికల్ ఫైబర్ కమ్యూనికేషన్ మరియు హోలోగ్రాఫిక్ టెక్నిక్‌లలో లేజర్‌లు ముఖ్యమైన భాగం.

5.8 హోలోగ్రఫీ సూత్రం

హోలోగ్రఫీ అనేది 1948లో గాబోర్ చే అభివృద్ధి చేయబడిన ఇమేజ్ రికార్డింగ్ పద్ధతి. సాధారణ ఫోటోగ్రఫీలో, వస్తువు నుండి ప్రతిబింబించే కాంతి యొక్క తీవ్రత సమాచారం మాత్రమే నమోదు చేయబడుతుంది, అయితే హోలోగ్రఫీలో, దశ సమాచారం కూడా నమోదు చేయబడుతుంది. ఇది అదే హోలోగ్రామ్ రికార్డ్ నుండి వస్తువు యొక్క మరొక వీక్షణ కోణాన్ని రూపొందించడం సాధ్యం చేస్తుంది.

నిర్మాణం:

మూలం నుండి కాంతి యొక్క సమాంతర పుంజం రెండు భాగాలుగా విభజించబడింది. ఒక భాగం వస్తువుపై పడి, ప్రతిబింబించే తరంగం రికార్డింగ్ ప్లేట్‌కు చేరుకుంటుంది. దీనినే ఆబ్జెక్ట్ వేవ్ అంటారు. మరొక భాగం అద్దం మీద పడి రికార్డింగ్ ప్లేట్‌కు చేరుకుంటుంది. దీనిని రిఫరెన్స్ వేవ్ అంటారు. ఆబ్జెక్ట్ వేవ్ మరియు రిఫరెన్స్ వేవ్ యొక్క ఇంటర్ఫెరెన్సు నమూనా రికార్డింగ్ ప్లేట్‌లో నమోదు చేయబడుతుంది.

will enhance the 33900Å transition which depopulate the upper laser level and condition for population inversion fails.

Applicatiopns:

7. It is used in integrated bar code readers.
8. It is used in laser surgery and laser cutting.
9. It is used in surveying, which offers a high accuracy due to its narrow beam width.

5.7 Applications of lasers

10. Lasers are used for eye suegeries, dental surgeries, acne removal and other cosmetic surgeries in medical field.
11. Lasers are used for pollution detection and particle size analysis of micro to nano size materials.
12. Ultrashort pulse lasers can be used to develop optical tweezers, fluoorescent microscopes that use visible light to photograph nanometer and femtometer size objects by overcoming Rayleigh limit.
13. High intensity lasers made it a reality to develop a new branch of optics namely, non-linear optics that finds applications in ultrafast optical sensors and high resolution spectroscopy.
14. Laser ablation techniques find applications in micro drilling of industrial materials.
15. Ion drive engines can be run using lasers for deep space navigation applications.
16. Lasers in engineering field are used for detection and ranging applications similar to radar namely LIDAR (Light detection and Ranging).
17. Lasers are used for data storage and data retrieval in optical data disks.
18. Lasers are essential part of optical fiber communication and holographic techniques.

ఆబ్జెక్ట్ వేవ్ ద్వారా ఇవ్వబడనివ్వండి

$$\psi_o = A_o e^{i\phi_o} \quad --- (1)$$

మరియు రిఫరెన్స్ వేవ్ ఉండనివ్వండి

$$\psi_r = A_r e^{i\phi_r} \quad --- (2)$$

రికార్డింగ్ ప్లేట్‌లో నమోదు చేయబడిన ఇంటర్ఫెరెన్సు నమూనా యొక్క తీవ్రత ద్వారా ఇవ్వబడింది

$$I_r = |\psi_o + \psi_r|^2 = \left(A_o e^{i\phi_o} + A_r e^{i\phi_r}\right)\left(A_o e^{-i\phi_o} + A_r e^{-i\phi_r}\right)$$
$$= A_o^2 + A_r^2 + A_o A_r\left(e^{i(\phi_o - \phi_r)} + e^{-i(\phi_o - \phi_r)}\right)$$
$$= I_o + I_r + A_o A_r \cos(\phi_o - \phi_r) \quad --- (3)$$

అందువల్ల రికార్డింగ్ ప్లేట్‌లో, తీవ్రత సమాచారంతో పాటు, వస్తువు యొక్క దశ సమాచారం కూడా నమోదు చేయబడుతుంది.

పునర్నిర్మాణం:

హోలోగ్రామ్‌పై రికార్డ్ చేయబడిన ఆబ్జెక్ట్ సమాచారం హోలోగ్రామ్‌ను పునర్నిర్మించే తరంగంతో ప్రకాశింపజేయడం ద్వారా పునర్నిర్మించబడుతుంది. పునర్నిర్మాణ తరంగం రికార్డింగ్ సమయంలో ఉపయోగించిన రిఫరెన్స్ వేవ్ వలె ఒకే లక్షణాలను కలిగి ఉంటుంది. హోలోగ్రాఫిక్ ప్లేట్ యొక్క మరొక వైపున, పతన రిఫరెన్స్ వేవ్ బీమ్‌ను కొంత మాడ్యులేషన్‌తో చూడవచ్చు, వస్తువు యొక్క నిజమైన చిత్రం ఎడమ-కుడి ఫ్లిప్ మరియు ఎడమ-కుడి లేకుండా వస్తువు యొక్క వర్చువల్ చిత్రం.

దీన్ని గణితశాస్త్రపరంగా అర్థం చేసుకోవడానికి, పునర్నిర్మాణ తరంగంగా పరిగణించగలరు

$$\psi_c = A_r e^{i\phi_r} \quad --- (4)$$

ప్రసారం చేయబడిన తరంగ వ్యాప్తి ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది

$$\psi_t = \psi_c I_r = A_r e^{i\phi_r}\left[A_o^2 + A_r^2 + A_o A_r\left(e^{i(\phi_o - \phi_r)} + e^{-i(\phi_o - \phi_r)}\right)\right]$$
$$= (A_o^2 + A_r^2) A_r e^{i\phi_r} + A_o A_r^2 e^{i\phi_o} + A_o A_r^2 e^{-i\phi_o} e^{+2i\phi_r} \quad --- (5)$$

ఇక్కడ మొదటి పదం 0th *order wave* యాంప్లిట్యూడ్ సవరణతో పతన పునర్నిర్మాణ తరంగాన్ని సూచిస్తుంది. రెండవ పదం 1st *order wave* అదే దశ సమాచారంతో వస్తువు యొక్క వర్చువల్ ఇమేజ్‌ని సూచిస్తుంది. మూడవ పదం 1st *order wave* తిప్పబడిన దశ సమాచారంతో నిజమైన చిత్రంగా ఉంటుంది.

ఇక్కడ వర్చువల్ ఇమేజ్ రికార్డ్ చేయబడినప్పుడు ఆబ్జెక్ట్ ఉన్న ప్రదేశంలోనే ఏర్పడుతుంది. అర్థం చిత్రం యొక్క దశ లక్షణాలతో (ఎడమ నుండి కుడికి తిప్పబడింది) అసలు వస్తువు యొక్క మిర్రర్ ఇమేజ్ స్థానంలో నిజమైన చిత్రం ఏర్పడుతుంది.

5.8 Holography Principle

Holography is a method of image recording developed by Gabor in 1948. In ordinary photography, the intensity information of reflected light from the object is only recorded, whereas in holography, phase information is also recorded. This makes it possible to generate another view angle of the object from the same hologram record.

Construction:

The parallel beam of light from the source is devided into two parts. One part falls on the object and the reflected wave reaches the recording plate. This is called object wave. Other part falls on a mirror and reaches the recording plate. This is called reference wave. The interference pattern of the object wave and reference wave is recorded on the recording plate.

Let the object wave be given by

$$\psi_o = A_o e^{i\phi_o} \quad ---(1)$$

and let the reference wave be

$$\psi_r = A_r e^{i\phi_r} \quad ---(2)$$

The intensity of the interference pattern recorded on the recording plate is given by

$$I_r = |\psi_o + \psi_r|^2 = \left(A_o e^{i\phi_o} + A_r e^{i\phi_r}\right)\left(A_o e^{-i\phi_o} + A_r e^{-i\phi_r}\right)$$

$$= A_o^2 + A_r^2 + A_o A_r\left(e^{i(\phi_o-\phi_r)} + e^{-i(\phi_o-\phi_r)}\right)$$

$$= I_o + I_r + A_o A_r \cos(\phi_o - \phi_r) \quad ---(3)$$

Thus on the recording plate, in addition to intensity information, phase information of the object is also recorded.

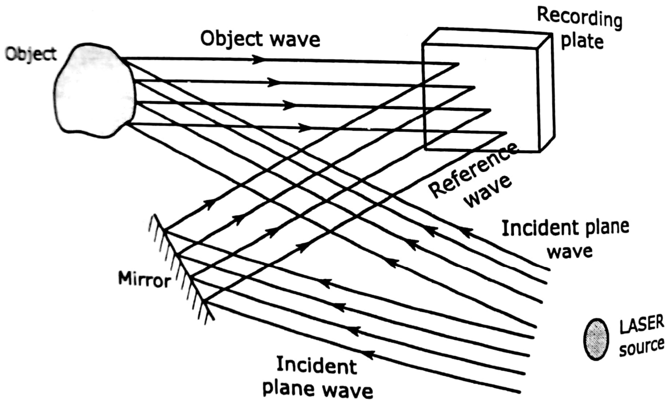


Fig: Hologram construction principle

Reconstruction:

The object information recorded on the hologram can be reconstructed by illuminating the hologram with a reconstructing wave. The reconstruction wave will have identical features as the reference wave that was used while recording. On the otherside of the holographic plate, one can see the incident reference wave beam with some modulation, a real image of the object with left - right flip and a virtual image of the object without the left - right flip.

To understand it mathematically, consider the reconstruction wave to be

$$\psi_c = A_r e^{i\phi_r} \quad ---(4)$$

The transmitted wave amplitude is given by

$$\psi_t = \psi_c I_r = A_r e^{i\phi_r}\left[A_o^2 + A_r^2 + A_o A_r\left(e^{i(\phi_o-\phi_r)} + e^{-i(\phi_o-\phi_r)}\right)\right]$$

$$= (A_o^2 + A_r^2)A_r e^{i\phi_r} + A_o A_r^2 e^{i\phi_o} + A_o A_r^2 e^{-i\phi_o} e^{+2i\phi_r} \quad ---(5)$$

Here the first term represents the 0th *order wave* which is the incident reconstruction wave with amplitude modification. Second term represents the 1st *order wave* which is a virtual image of the object with the same phase information. Third term represents the 1st *order wave* which is a real image with flipped phase information.

Here the virtual image will be formed at the same location as the object when it was recorded. The real image will be formed at the mirror image location of the original object with the phase features of the mirror image (flipped left to right).

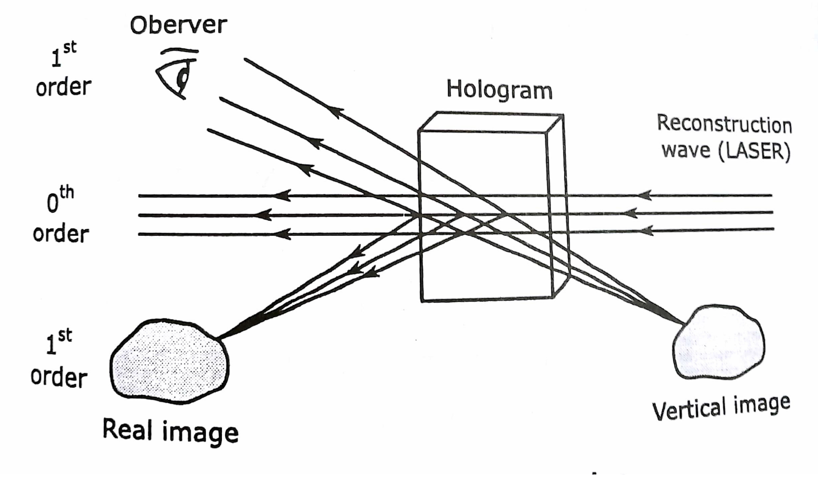


Fig: Hologram image reconstruction

5.9 Holography Applications

1. Holographic image of the battle field can be used to train soldiers to travel and fight in unknown geographical locations.
2. 3D holographic projections may be helpful for doctors and surgeons for better understanding and practice of surgeries and disgnostics.
3. 3D holographic projections may be used to run virtual reality tours and conferences.
4. Holographic microscopy can be used to record high resolution image of the microscopic objects which can be analyzed in different perspectives at later times. This is highly useful in biology and materials science research.
5. Multiple ordinary images taken from different perspectives of the object can be replaced by a single hologram, thus a lot of space in image storage can be saved with complete information records.

6. The hologram can be reconstructed even from a small piece of the original recording. Thus, data loss due to image damage can be minimized.
7. Holographic interferometry is used for non-destructive testing of damage, cracks, ware and tare of machine parts.
8. Holographic images are tamper proof. Therefore they can be used for genuinity verification of consumer products, antique art pieces and paintings.
9. Dynamic holography provides a possibility for real-time observation of war fields, medical surgeries etc.

5.9 హోలోగ్రఫీ అప్లికేషన్స్

1. యుద్ధ క్షేత్రం యొక్క హోలోగ్రాఫిక్ చిత్రం తెలియని భౌగోళిక ప్రదేశాలలో ప్రయాణించడానికి మరియు పోరాడడానికి సైనికులకు శిక్షణ ఇవ్వడానికి ఉపయోగించవచ్చు.
2. 3D హోలోగ్రాఫిక్ ప్రొజెక్షన్లు వైద్యులు మరియు సర్జన్లకు సర్జరీలు మరియు డిస్ట్రోప్టిక్లను బాగా అర్థం చేసుకోవడానికి మరియు సాధన చేయడానికి సహాయపడవచ్చు.
3. వర్చువల్ రియాలిటీ పర్యటనలు మరియు సమావేశాలను అమలు చేయడానికి 3D హోలోగ్రాఫిక్ ప్రొజెక్షన్లను ఉపయోగించవచ్చు.
4. హోలోగ్రాఫిక్ మైక్రోస్కోపీని మైక్రోస్కోపిక్ వస్తువుల యొక్క అధిక రిజల్యూషన్ ఇమేజ్ని రికార్డ్ చేయడానికి ఉపయోగించవచ్చు, వీటిని తరువాతి సమయాల్లో వివిధ కోణాల్లో విశ్లేషించవచ్చు. జీవశాస్త్రం మరియు మెటీరియల్ సైన్స్ పరిశోధనలో ఇది చాలా ఉపయోగకరంగా ఉంటుంది.
5. ఆబ్జెక్ట్ యొక్క విభిన్న దృక్కోణాల నుండి తీసిన బహుళ సాధారణ చిత్రాలను ఒకే హోలోగ్రామ్ ద్వారా భర్తీ చేయవచ్చు, తద్వారా పూర్తి సమాచార రికార్డులతో ఇమేజ్ స్టోరేజ్లో చాలా స్థలాన్ని సేవ్ చేయవచ్చు.
6. హోలోగ్రామ్ అసలు రికార్డింగ్ యొక్క చిన్న భాగం నుండి కూడా పునర్నిర్మించబడుతుంది. అందువలన, చిత్రం నష్టం కారణంగా డేటా నష్టం తగ్గించవచ్చు.
7. హోలోగ్రాఫిక్ ఇంటర్ఫెరోమెట్రీ అనేది యంత్ర భాగాల నష్టం, పగుళ్లు, వేర్ మరియు టేర్ యొక్క నాన్-డిస్ట్రక్టివ్ టెస్టింగ్ కోసం ఉపయోగించబడుతుంది.
8. హోలోగ్రాఫిక్ చిత్రాలు ట్యాంపర్ ప్రూఫ్. అందువల్ల వాటిని వినియోగదారు ఉత్పత్తులు, పురాతన కళాఖండాలు మరియు పెయింటింగ్ల వాస్తవికతను ధృవీకరించడానికి ఉపయోగించవచ్చు.
9. డైనమిక్ హోలోగ్రఫీ యుద్ధ క్షేత్రాలు, వైద్య శస్త్రచికిత్సలు మొదలైన వాటి యొక్క నిజ-సమయ పరిశీలనకు అవకాశాన్ని అందిస్తుంది.

Solved Problems

1. **Find the ratio of population of the two states in a He Ne laser that produce a light of wave length 6328 A° at a temperature of 37°C.**

Ans: Given that Wavelength of light (λ) = 6328 A°

=6328 x 10^{-10} m

Temperature (T) =37^0C =310K

Ratio of population of the two states

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{\Delta E}{KT}}, where\ \Delta E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\Delta E = \frac{6.63 \text{ x } 10^{-34} x\ 3\ x\ 10^8}{6328 \text{ x } 10^{-10}} = 3.143\ x 10^{-19}\ Joules$$

$$\frac{\Delta E}{KT} = \frac{3.143\ x 10^{-19}}{1.38\ x\ 10^{-23} x\ 310} = 73.5$$

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-73.5} = 1.2\ x\ 10^{-32}$$

2. **A white light has frequency range from 0.45x10^{15} Hz to 0.65 x10^{15} Hz. Calculate the coherence time and coherence length of the light source.**

Ans: Given that the Range of frequency for white light is 0.45x10^{15} Hz to 0.65 x10^{15} Hz

$\Delta\nu$=0.65 x10^{15} Hz - 0.45x10^{15} Hz = 0.2 x 10^{15} Hz

Coherence time, t= 1/$\Delta\nu$= *1* (/0.2 x 10^{15}) = *5* x 10^{-15}

Coherence length, *l*= ct = 3 x 10^8 x *5* x 10^{-15} = 15x 10^{-7} m

3. **A typical He-Ne laser emits a radiation of λ=6328 °A. Find the rete of photons emitted by a 1mW He-Ne laser?**

Ans: Given, Wave length of He-ne laser light is light (λ) = 6328 A°

=6328 x 10^{-10} m

Power of He-Ne laser (P)= 1mw = 10^{-3}W

Number of photons (n) = Energy of Pulse/ Energy of Photon

Energy of photon, ε = hc/λ = $6.63x10^{-34}x3x10^{8}$ / (6328×10^{-10})

= $3.1x\ 10^{-19}$ J

Energy of laser pulse E= P x 1s

= $10^{-3} \times 1 = 10^{-3}$ J

Number of photons (n) =E/ε = $10^{-3}/\ 3.1x\ 10^{-19}$

n = $3.2\ x10^{-15}$

4. Find the intensity of laser beam of 1mw power and having a diameter of 1.5 mm. Assume the intensity of the beam to be uniform across the beam area.

Ans: Given, Power of laser (P) =1 mW= 10^{-3} W

Diameter of beam (d) =1.5 mm=1.5×10^{-3}m

The intensity of the laser (I) = P/A

Where A is Area = $\frac{\pi d^2}{4}$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14\ x(\ 1.5x10^{-3})^2}{4} = 1.77\ x\ 10^{-6}$$

$$Intensity\ (I) = \frac{P}{A} = \frac{10^{-3}}{1.77\ x\ 10^{-6}} = \ 560\ W/m^2$$

5. A laser company produces a He-Ne laser consisting of a tube 5 mm in diameter, 25 cm long, containing 4 torr of the gas mixture; the laser tube requires an operating voltage of 520 V. The producer wants to reduce laser tube diameter to 3 mm and its length to 15 cm. Calculate the pressure and the operating voltage that are required in this laser.

Ans: Given that P1=4 torr P2=?

D1= 5mm, D2= 3mm

L1=25cm l2=15cm

V1=520V V2=?

From the scaling law

Pressure x Diameter = Constant

$P_1D_1= P_2D_2$

Therefore , new pressure $P2= P_1D_1/ D_2 = 4x5/3$

= 6.67 torr

Also we know that, $P_1E_2= P_2E_1$ and $E=V/l$

$P_1V_2/l_2= P_2V_1/ l_1$ Therefore, $V_2= P_2 l_2V_1/ P_1 l_1$

$V_2= P_2 l_2V_1/ P_1 l_1$

= (6.67 x 15 x 520)/ (4 x 25)

= 520V

6. **The signal gain of a ruby laser amplifier using a 15 cm long rod is 12. Neglecting gain saturation, calculate the signal gain of a 20 cm long rod with the same population inversion.**

Ans: The signal gain of active material of length l is given by

$$G = \exp(\sigma\, l\, [N_2 - \left(\frac{g_2N_1}{g_1}\right)])$$

$$\log G/l = \sigma\ [N_2 - \left(\frac{g_2N_1}{g_1}\right)]$$

Given that G1=12 for l1=15cm

Then G2= ? for l2=20cm

$$\sigma\ \left[N_2 - \left(\frac{g_2N_1}{g_1}\right)\right] = \frac{\log G1}{l1} = \frac{\log 12}{15} = 0.166\ cm^{-1}$$

$$\frac{\log G2}{l2} = \sigma\ \left[N_2 - \left(\frac{g_2N_1}{g_1}\right)\right] = 0.166\ cm^{-1}$$

$$\log G2 = 20 \text{ x } 0.166$$

$$G2 = \exp(20 \text{ x } 0.166) = 27.5$$

7. **A laser cavity consists of two mirrors with reflectivity R1= 1 and R2 = 0.5, while the internal loss per pass is Li =**

1 %. Calculate the total logarithmic losses per pass. If the length of the active material is l= 10 cm and the transition cross section is σ = 3.57 x 10^{-19} cm2, calculate the threshold inversion.

Ans: The threshold inversion is given by

$$N_c = \frac{\gamma}{\sigma\, l}$$

Where

$$\gamma = \gamma_i + \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}$$

$$\gamma_1 = -\ln(R1) = -\ln(1) = 0$$

$$\gamma_2 = -\ln(R2) = -\ln(0.5) = 0.693$$

$$\gamma_i = -\ln(l - Li) = 0.01$$

Therefore $\gamma = 0.357$

$$N_c = \frac{0.357}{3.57\ x10^{-19}\ x\ 10} = 1x\ 10^{17}\ cm^{-3}$$

8. An Laser has a pump efficiency of η_p = 10x 10^{-4} at 5 kW electrical pump power. Find the pump efficiency at 10 kW pump power.

Ans: The pump rate is directly proportional to the pump efficiency of the laser

Therefore, $R_p\ \alpha\ \eta_p$

$\eta_{p1}/\ \eta_{p2} = R_{p1}/\ R_{p2}$

$\eta_{p2} = \eta_{p1}\ R_{p2}/\ R_{p1}$

Given that

η_{p1} = 8x 10^{-4} at R_{p1} = 5kW

η_{p2} = ? at R_{p2} = 10kW

η_{p2} = 10x 10^{-4} x 10/ 5

η_{p2} = 2x 10^{-3}

9. The ratio of Reference Beam to Object Beam intensity is 4:1, then find the beam splitter ratio required having the object of efficiency of 40%.

Ans: Given that

$$\frac{I_{ref}}{I_{obj}} = \frac{4}{1}$$

$$I_{obj} = 10\ \%\ I_{incident}$$

$$I_{ref} = 4\ x\ \frac{10}{100}\ I_{incident}$$

$$\frac{I_{ref}}{I_{incident}} = \frac{2}{5}$$

Therefore, we require a beam splitter with ration of 2:5

10. A transmission hologram is recorded using a He–Ne laser (632 nm) with the object and reference beams making angles of -40° and 40°, respectively, with the normal to the photographic plate. What is the average spatial frequency of the hologram fringes?

Ans: Average spatial frequency of the hologram fringes (ξ) = $\frac{\sin\theta max - \sin\theta min}{\lambda}$

Given that θ= 30° and λ = 633nm = 633 x 10^{-9} m

Therefore

$$\xi = \frac{\sin(45) - \sin(-45)}{632\ x\ 10^{-9}} = \frac{2\sin 45}{632\ x\ 10^{-9}} = 2240\ lines/mm$$

11. A hologram is recorded using a Ruby laser (650 nm), and illuminated with a He–Ne laser (630 nm) to view the image. The reference beam in the recording system appears to diverge from a point at a distance of 1 m from the hologram. How far from the hologram should the beam from the He–Ne laser be brought to a focus to ensure that the image is reconstructed with unit lateral magnification?

Ans: The condition for the image to be reconstructed with unit lateral magnification is

$$\frac{Z_p}{Z_R} = \frac{\lambda_p}{\lambda_R}$$

where Z_P and Z_R are the distances from the hologram of the sources used for reconstruction and recording, respectively, and λ_p and λ_R their respective source wavelengths.

Given that Z_R= 1m and λ_p = 650nm and λ_R= 630nm

$$Z_p = Z_R \frac{\lambda_p}{\lambda_R} = 1\,x\,\frac{650}{630} = 1.032m$$

12. **A hologram is to be recorded with a He–Ne laser on a Holographic plate** correspond to an exposure of approximately 1.5 J/m^2. **The illumination level in the hologram plane due to the object beam is 0.005 W/m^2, and that due to the reference beam is 0.01 W/m^2. The plate is to be processed to produce a phase hologram. What is the exposure time required?**

Ans: To obtain good diffraction efficiency after bleaching, the exposure should result in an optical density of at least 25 seconds after development.

The holographic plate is exposure energy density of approximately E= 1.5 J/m^2.

Accordingly, the exposure time required would be

T=E/(Power density of object + power density of reference beam)

T= 1.5/(0.005+0.01) = 100 seconds

The exposure time yielding the maximum diffraction efficiency can be selected from trials with exposures ranging from 75 seconds to 125 seconds.

MCQs

1. Hologram records -------of light

a) Intensity b) Phase c) Both intensity and phase d) either intensity or phase

APPGCET2022

Ans: c

2. Which of the following is a three level LASER

a) Nd:YAG laser b) Ruby lasers c) He:Ne laser d) Semiconding lasers

APPGCET2021

Ans: b

3. In holographic storage, the data is stored in

a) Pendrives b) Cells c) Crystals d) Diodes

APPGCET2021

Ans: c

4. In Holography

a) Amplitude distribution is only recorded

b) Phase distribution of light only recorded

c) Amplitude & phase distribution are recorded

d) Both are not recorded

AUCET 2020

Ans: c

5. In laser action which occupy an important role

a) Pumping b) Inversion c) Meta stable state d) both (b) & (c)

AUCET 2020

Ans: d

6. One of them belongs to gas lasers

a) dye lasers b) Ruby lasers c) excimer lasers d) YLF lasers

AUCET 2020

Ans: c

7. Ruby Laser belongs to

a) a five level laser b) a two level laser c) a four level laser d) a three level laser

AUCET 2020

Ans: d

8. The angle of divergence of laser beam is of the order of

a) 10^{-3} Radian b) 10^{-1} Radian c) 10^{-6} Radian d) 10 Radian

Ans: a

9. Probability of stimulated absorption is proportional to

a. Number of atoms in ground state

b. Incident radiation energy density

c. Number of atoms in excited States

d. All

Ans: b

10. The process of increasing population of higher energy level compared to lower energy level is known as

a. Population inversion

b. Pumping

c. Stimulation

d. Absorption

Ans: b

11. The Active medium of a laser system is enclosed between two reflecting surfaces which are

a. Both perfectly reflecting surfaces

b. Both partially reflecting surfaces

c. One partially reflecting surface and other perfectly reflecting surface

d. Both reflecting as well as transmitting surfaces

Ans:c

12. The energy levels of which ions in Ruby laser have metastable state

a. Al^{+3} b) Cr^{+3} c) Al^{-3} d) Cr^{-3}

Ans:b

13. Laser medium in Helium:Neon laser is a mixture of helium and neon gases in the ratio of

a) 10:1 b) 1:10 c) 3:2 d)1:2

Ans:a

14. If an image is seen out of an hologram and appears in front of the film, the image is called

a. Virtual Imag b) Real image c)Pseudoscopic image d)None

Ans: b

Grade your understanding

1. There is a constant phase difference between photons emitted in stimulated emission [ ]
2. Lasers have been developed in all media like solid, liquid and gases [ ]
3. White light laser are also available in the market [ ]
4. The wavelength for laser include in only visible region [ ]
5. Laser light maintain constant wavelength and frequency by emission of photons from same atom [ ]
6. The coherence length of laser light is of the order of few km also [ ]

7. When atoms are in higher excited States the more probably is the spontaneous emission [ ]

8. One cannot excite more than half of the atoms to higher energy levels in two level system [ ]

9. Spontaneous emission may or may not takes place in a laser [ ]

10. The lower level of laser is always connected to ground state in all types of lasers [ ]

11. The atoms in metastable state will be always de-excited only by collision [ ]

12. Interference place an important role in recording of a hologram [ ]

13. If a hologram breaks, the whole image can be visible in each piece [ ]

14. Multiple ordinary images of an object can be replaced by a single hologram [ ]

1.Yes 2.Yes 3.No 4.No 5.No 6.Yes 7. Yes 8.Yes
9.No 10.No 11. No 12.Yes 13.No 14. Yes

Glossary

Glossary	
Beam splitter	An optical device that divides a beam of light into two beams.
Diffraction	The change in direction of a wave front encountering an object
Adiabatic	A process or condition in which heat does not enter or leave the system concerned.
Amplification	The process of increasing the amplitude of the signal

Avalanche	A sudden arrival or occurrence of something in overwhelming quantities.
Brewster Prism	It designed to have an apex angle such that a p-polarized ray incident at Brewster's angle will pass through the prism parallel to the base at minimum deviation, and exit also at Brewster's angle.
Cavity	A cavity is a space or hole in something such as a solid object
Coherence	An ideal property of waves that enables stationary (i.e., temporally or spatially constant) interference.
Collimated beam	(The production of) a beam of light that neither converges nor diverge
Diverge	To follow a different direction, or to be or become different
Dye Laser	A laser that uses an organic dye as the lasing medium, usually as a liquid solution.
Hologram	A picture of a "whole" object, showing it in three dimensions.
Holography	The study or production of holograms
Induce	To lead on to some action, condition, beli
Metastable	Pertaining to a physical or chemical state that is relatively long-lived, but may decay to a lower energy state when slightly perturbed or through a quantum transition.
Optical Tweezer	A highly focused laser beam to hold and move microscopic and sub-microscopic objects like atoms, nanoparticles and droplets, in a manner similar to tweezers.
Population	Number of atoms / molecules in the energy state
Probability	It describes how likely an event is to occur or the relative possibility that an event will occur

Resonator	A device or system that exhibits resonance or resonant behavior
Stimulate	To encourage something to grow, develop, or become active
Ultrashot wave	A wave having a wavelength below 10 meters

APSCHE

A Accessible and affordable Higher Education ensuring Accountability

P Perspective plan for effective governance in Higher Education

S Strengthening institutional networking and global linkges

C Curricular restructing and Technology Enabled Learning

H Human Resource potential enrichment

E Enhancing quality and accelerating research

Significance of the Emblem

The Emblem Symbolizes Three Components:

Flames — DISSOLVING IGNORANCE

Blossoms — GERMINATION OF IDEAS

Books — KNOWLEDGE

First Year B.Sc.

PHYSICS

Wave Optics

Published by

ANDHRA PRADESH STATE COUNCIL OF HIGHER EDUCATION

(A Statutory Body of the Government of A.P)

3rd, 4th and 5th floors, Neeladri Towers, Sri Ram Nagar, 6th Battalion Road, Atmakur (V), Mangalagiri (M), Guntur, Andhra Pradesh, Pin - 522 503

secretaryapsche@gmail.com

www.apsche.org