

ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS E ÓPTICA

2016/17 – 2º SEMESTRE

José Manuel Rebordão

SUMÁRIOS DAS AULAS TEÓRICAS

Nº DE AULAS: 43 – 1 (Suspensão de aula) – 1 Falta – 2 aulas de dúvidas = 39 aulas com matéria efectiva

1 *****

Início da disciplina (1/13)

Objectivos, programa, bibliografia e avaliação.

Os 4 paradigmas da Óptica. Mapa conceptual da Óptica.

Espectro Electromagnético: grandes divisões do espectro, referência à norma ISO 21348; especial referência para o eixo de comprimentos de onda, de frequências e de energia de fotão (eV) - valores típicos.

Aula Teórica 13-02-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 100 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 13-02-2017 19:06

2 *****

Luminescência. Paradigmas e fenomenologia da óptica (1/14)

A - Fontes luminescentes e tipos de luminescência. Fotoluminescência. Transições radiativas e não radiativas, breve menção a fónões e a outras formas de acoplamento entre um átomo e o seu contexto. Relação entre os espectros de absorção e de emissão. Absorção multifotónica e microscopias de fluorescência. Breve menção à geração de harmónicas no contexto da óptica não linear. Degenerescência. Diferenças entre fluorescência e fosforescência, breve menção a estados singleto e tripleto. Escalas de tempo típicas das transições entre estados electrónicos.

B - Apresentação dos quatro paradigmas da Óptica, e dos modelos semi-clássicos. Fenomenologia explicável pela Óptica Geométrica, pela Óptica Ondulatória, pela Óptica Electromagnética e pela Óptica Quântica.

Bibliografia

Saleh, Fundamentals of Photonics, 2nd ed.:

A - Capítulo 13.5, secções A e B. Secção 12.3.A.

B - Secções introdutórias dos capítulos 1, 2, 5, 12.

Aula Teórica 15-02-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 100 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 16-02-2017 09:57

3 *****

Paradigmas EM, ondulatório e geométrico (1/14)

Resumo generalista dos diversos quadros conceptuais da óptica:

Paradigma Electromagnético: Equações de Maxwell e constitutivas. Polarização de ondas EM. Densidade de Polarização, \mathbf{P} e de Magnetização, \mathbf{M} . Relações $\mathbf{P}(\mathbf{E})$ e $\mathbf{M}(\mathbf{H})$. Continuidade dos campos em superfícies de descontinuidade dos índices, equações da reflexão, refração e de Fresnel. Vector de Poynting e fluxos de energia.

Paradigma Ondulatório: equações de ondas e amplitude complexa. Linearidade e princípio de sobreposição. Limites de aplicação

Paradigma da Óptica Geométrica: raios luminosos e frentes de onda. Equação do Eikonal. Índice de refração. Percurso Óptico. Princípio de Fermat.

Aula Teórica 16-02-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 100 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 16-02-2017 18:23

4 *****

Introdução à Óptica Geométrica (2/13)

1 - Conceitos da Óptica Geométrica

Relação com a Óptica Electromagnética: equação do Eikonal

Raios luminosos, frentes de onda geométricas; feixes de raios luminosos, feixes cónicos e feixes cilíndricos (colimados)

Conjugação. Conjugados finitos e infinitos. Alguns exemplos.

Sistemas ideais e aproximação paraxial. Breve menção a alguns tipos de aberrações

2 - Princípios de propagação

Princípio de Fermat: Tempo de percurso entre dois pontos, percurso óptico.

Princípio de Huygens: envolvente de famílias de linhas (2D) ou de superfícies (3D)

Aula Teórica 20-02-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 90 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 20-02-2017 17:56

5 *****

Reflexão (2/14)

Princípio de Huygens (continuação)

Leis da reflexão e da refração: versões escalar e vectorial; dedução com base no princípio de Fermat.

Espelhos planos. Noção de imagem virtual (por oposição a real). Breve referência a potência óptica que, sendo 0 não altera a divergência dos feixes de raios luminosos.

Espelhos parabólicos, elipsoidais e hiperbólicos: equações de definição, algumas aplicações destes tipos de espelhos.

Aula Teórica 22-02-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 90 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 22-02-2017 19:02

6 *****

Reflexão. Prismas (2/14)

Reflexão em espelhos esféricos, com objectos pontuais no eixo ou fora do eixo. Traçado de raios na aproximação paraxial.

Equação dos planos conjugados, Noção de distância focal. Breve referência à potência óptica e à unidade SI, dioptria.

Convenção de sinais em espelhos.

Ilustração dos conceitos anteriores através de um simulador de espelhos esféricos, côncavos e convexos.

<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/mirrors/concavemirrors/index.html>

<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/mirrors/convexmirrors/index.html>

Reflexão interna total. Ângulo crítico. Aplicações: condução de luz em fibras ópticas, implementação da reflexão em prismas.

Prismas: ângulo de desvio, aproximação paraxial, e relação de dispersão (índice de refração função do comprimento de onda).

Aula Teórica 23-02-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 90 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 23-02-2017 16:33

7 *****

Refração esférica (3/14)

Prismas (conclusão): deflexão de feixes sem alteração da sua forma (divergência).

Refração em superfícies esféricas: equação dos planos conjugados, ampliação transversa, potência óptica de um diopetro, foco objecto e foco imagem.

Lentes delgadas: equação dos planos conjugados, potência de uma lente delgada no ar; formas de lentes simples e sinal da potência óptica.

Imagens e objectos reais e virtuais.

Generalização da potência de uma lente simples no ar ao caso de lentes de espessura arbitrária, no ar.

Sinais das várias quantidades relevantes para lentes e sistemas de lentes.

Aula Teórica 01-03-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 80 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 01-03-2017 18:23

8 *****

Formação de imagens (3/14)

Utilização de dois simuladores que permitem relacionar características do objecto e da imagem

http://phet.colorado.edu/sims/geometric-optics/geometric-optics_en.htm

http://www.physics-chemistry-interactive-flash-animation.com/optics_interactive/converging_lens_convex_positive.htm

Noção de ampliação longitudinal e sua relação com a ampliação transversa

Composição de sistemas ópticos em sequência.

Pontos (e planos) Cardinais: pontos focais, principais e nodais.

Aula Teórica 02-03-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 80 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 02-03-2017 16:20

9 *****

Sistemas arbitrários e pontos cardinais (3/13)

Pontos cardinais. Equações gerais. Definição de potência óptica. Traçado de raios. Posição dos planos principais para lentes simples.

Concatenação de sistemas referidos aos seus pontos cardinais: potência e posição dos pontos principais.

Análise da combinação +/- (bloco de potência positiva seguido por um bloco de potência negativo): teleobjectiva, sistemas afocais.

Resumo das equações gerais da óptica geométrica para sistemas arbitrários.

Resumo das expressões da potência de sistemas ópticos.

BIBLIOGRAFIA

Optics, Hecht (4ª edição), cap. 6, secção 6.1,

Apresentação em Power Point do capítulo PONTOS CARDINAIS (disponível em *Elementos de Estudo*).

A AULA DE 8 DE MARÇO (4ª FEIRA) É UMA AULA DE DÚVIDAS SOBRE AS MATÉRIAS ANTERIORES, A MATÉRIA SEGUINTE (ABERRAÇÕES) PODERÁ JÁ SER ABORDADA CASO AS DÚVIDAS NÃO SEJAM NUMEROSAS.

Aula Teórica 06-03-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 70 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 06-03-2017 19:24

10 *****

Dúvidas de Óptica Geométrica (4/14)

Tópicos objecto de perguntas dos alunos:

Lâmina de faces paralelas e seu efeito em raios e em feixes luminosos.

Programas de "Cálculo e Análise de Sistemas Ópticos": indicações genéricas sobre as suas funcionalidades e o nível de intervenção / especificação do utilizador, com destaque para a determinação da posição dos pontos cardinais.

Dúvidas relativas a transparência de meios, respondidas em termos de óptica ondulatória e de um modelo complexo do índice de refração (com uma parte real semelhante ao índice de refração geométrico e uma parte imaginária que modela a absorção da radiação pelo meio).

Algumas observações relativas à aberração cromática.

Aula Teórica 08-03-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 50 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 08-03-2017 17:38

11 *****

Aberrações (4/14)

Dispersão

Dipolos, modelo de Lorentz, partes real e imaginária da susceptibilidade, interpretação em termos de índice de refração e de atenuação.

Aberrações

Tipologia, em função de uma característica distintiva: cones imagem, equação dos planos conjugados, ampliação transversa.

Aberrações monocromáticas: esférica, coma, astigmatismo, curvatura e distorção. Interpretação em termos de "folhas" de raios luminosos, principais características, exemplos. Dependência quantitativa das aberrações em função do diâmetro da pupila e da posição angular/transversa do objecto no campo.

Aberração cromática: origem em termos de dispersão, forma de compensação, cor secundária, exemplos.

Bibliografia

Hecht, Capítulo 6, secção 6.3

https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_aberration e páginas derivadas para as diversas aberrações

Próxima aula

Olho

Aula Teórica 09-03-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 50 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 09-03-2017 16:24

12 *****

Olho e a visão (4/13)

O olho e a visão

Aspectos em que pode caracterizar a física do olho e da visão.

Estrutura anatómica e óptica do olho e da retina.

Os diferentes tipos de sensores retinianos, distribuição angular na retina e a amostragem que um tal sistema realiza da distribuição de irradiância na retina.

Breve menção ao olho composto

Descrição do modelo de Gullstrand / LeGrand do olho e análise dos principais valores envolvidos.

Pontos cardinais e parâmetros ópticos do olho.

Classificação dos problemas visuais: ametropias, presbiopia, estrabismos e daltonismos.

BIBLIOGRAFIA

Hecht, Óptica (Gulbenkian), secções 5.7.1 + 5.7.2

Herbert Gross, Handbook of Optical Systems (2008), Vol. 4 - Survey of Optical Instruments, Cap. 36 - Human eye

Wikipedia (em inglês): Eye, Human_eye, Near-sightedness, Far-sightedness, Astigmatism, Binocular_vision, Spectral_sensitivity, Color_blindness, Color_theory

[Hyperphysics](#)

Aula Teórica 13-03-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 60 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 13-03-2017 19:10

13 *****

Olho - problemas oculares (5/14)

Presbiopia: Ponto próximo. Limites da capacidade de acomodação.

Ametropias: miopia e hipermetropia. Visão longínqua. Ponto Remoto. Princípio de compensação das ametropias, $F=R$.

Astigmatismo: natureza do astigmatismo ocular. Eixos, astigmatismo normal. Superfícies cilíndricas e tóricas.

Breve referência a problemas na visão cromática.

Aula Teórica 15-03-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 50 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 15-03-2017 20:44

14 *****

Pupilas (5/14)

Doenças oculares: breves menções ao glaucoma, defeitos de retina e cataratas, e aos processos de correcção / tratamento.

Stop de abertura, pupila de entrada e pupila de saída. Vinhetagem, variação do diâmetro e da forma das pupilas com a posição do objecto no campo. Exemplos.

A função das pupilas no encadeamento de sistemas ópticos.

Telescópios com sistemas de inversão, imagens intermédias reais, controlo da posição da pupila de saída (relevo ocular), lentes de campo, inserção de auxiliares metrológicos.

Aula Teórica 16-03-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 50 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 16-03-2017 16:19

15 *****

Instrumentos ópticos (5/13)

Número-f de um sistema (f/#).

Profundidade de foco e de campo

Instrumentos ópticos:

A lupa: ampliação angular, formas que reveste em função das situações operacionais.

O microscópio óptico: Arquitectura geral. Funções da ocular e da objectiva.

BIBLIOGRAFIA

Hecht, Optics, Secções 5.7.3, 5.7.4, 5.7.5

AULA DE DÚVIDAS

31 de março de 2017, 18:30, sala 6.1.36

Aula Teórica 20-03-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 50 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 20-03-2017 19:12

16 *****

Instrumentos ópticos (continuação) (6/14)

Microscópio óptico (continuação): diafragma de campo; oculares (traçado de raios, diagrama de spot, aberrações dependentes do f/# e do campo angular, posicionamento da pupila de saída relativamente à pupila de entrada do olho, relevo ocular); objectivas (chamada de atenção para a informação disponibilizada no corpo das objectivas). Objectivas de imersão. Sistemas de iluminação para microscopia de objectos opacos.

Microscópios confocais: análise de funcionamento; sistema de iluminação e sistema de detecção.

Telescópios: cálculo da posição da imagem para objectos no infinito. Janelas de transmissão na atmosfera, Principais tipos, em função da existência, ou não, de elementos refringentes. Arquitectura dos telescópios Gregoriano, Newtoniano e de Cassegrain.

BIBLIOGRAFIA

Hecht, Optics - secção 5.7.7.

[AMATEUR TELESCOPE OPTICS](http://www.telescope-optics.net/index.htm#TABLE_OF_CONTENTS) - http://www.telescope-optics.net/index.htm#TABLE_OF_CONTENTS

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

<http://www.physics.emory.edu/faculty/weeks//confocal/>

https://www.thorlabs.com/images/Brochures/Thorlabs_Confocal_Brochure.pdf

Aula Teórica 22-03-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 22-03-2017 17:34

17 *****

Telescópios (6/14)

Telescópios: espelhos parabólicos, hiperbólicos, elipsoidais - pares objecto / imagem, real / virtual, côncavo / convexo.

Configuração de Cassegrain e variante de Ritchey-Chrétien - o Very Large Telescope e os seus diferentes focos.

Instrumentação de três espelhos.

Overview da configuração da pupila (à escala) para muitos telescópios; breve referência aos espelhos constituídos por elementos independentes

(http://asd.gsfc.nasa.gov/blueshift/wp-content/uploads/2016/07/2000px-Comparison_optical_telescope_primary_mirrors.svg.png)

Efeitos da atmosfera: janelas de transparência, turbulência atmosférica

Óptica adaptativa: arquitetura, principais elementos: "estrela" sintética, sensor de frente de onda (WaveFront Sensor, WFS), espelho deformável, controlo. Utilização da Óptica Adaptativa em oftalmologia (análise do fundo do olho).

Aula Teórica 23-03-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 23-03-2017 17:32

18 *****

Óptica Ondulatória (6/13)

Óptica Geométrica (conclusão): lente fisheye, características e mapeamento entre coordenadas do mundo e coordenadas imagem; exemplos.

Óptica Ondulatória (OO)

Contexto em que surge a equação de ondas; constantes materiais e velocidade da luz; linearidade.

Postulados da OO. Irradiância.

Modelo de ondas harmónicas no tempo - ondas monocromáticas; funções que descrevem a amplitude e a fase. Notação complexa.

Amplitude complexa, equação de Helmholtz, número de ondas e relação de dispersão.

Breve menção à equação de Helmholtz paraxial, no contexto das ondas geradas por lasers.

BIBLIOGRAFIA GERAL DE ÓPTICA ONDULATÓRIA

Saleh B.E.A., Teich M.C., Fundamentals of Photonics (ch. 2 & 3)

J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics (ch. 2, 3, 4, 5)

BIBLIOGRAFIA ESPECÍFICA DA AULA

Saleh, Fundamentals of Photonics, secções 2.1, 2.2.A

Aula Teórica 27-03-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 27-03-2017 18:05

19 *****

Ondas electromagnéticas (7/14)

Algumas considerações sobre a construção de soluções de equações diferenciais recorrendo a funções de variáveis separadas, em função das simetrias da situação física.

Ondas **planas**: Superfícies de igual fase; relação entre k e o número de ondas, k ; questões relativas à irradiância.

Ondas **esféricas**: Superfícies de igual fase; variação da amplitude com $1/r$.

Ondas **parabólicos**: aproximação de ondas esféricas em regiões intermédias; validade da aproximação; estrutura da fase e da amplitude.

Ondas **paraxiais**: modulação da amplitude; natureza da solução procurada; equação de Helmholtz paraxial; breve introdução às ondas gaussianas; breves referências à noção de modos electromagnéticos.

BIBLIOGRAFIA:

Saleh, Fundamentals of Photonics

Cap. 2 - Secções 2.2.B, 2.2.C.

Cap. 3 - Introdução

Aula Teórica 29-03-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 29-03-2017 17:47

20 *****

Dúvidas de tópicos da TP (7/14)

Aula de dúvidas, face a um teste intermédio relativo a Óptica Geométrica no dia 1 de Abril de 2017.

Esta aula foi assegurada pelos Profs. João Coelho e Margarida Pires.

Aula Teórica 30-03-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 31-03-2017 18:21

21 *****

Aula de Dúvidas

Aula de dúvidas da matéria teórica de Óptica Geométrica, face ao teste intermédio de 1-4-2017

Participou também a Prof.ª Margarida Pires

Aula Extraordinária 31-03-2017 02:00 - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 31-03-2017 20:04

22 *****

Ondas Gaussianas (7/13)

Estatísticas relativas às classificações do teste de 1-4-2017.

Ondas Gaussianas: construção, parâmetro de Rayleigh, análise da sua estrutura matemática.

Propriedades: irradiância, fluxo, diâmetro, cintura, divergência, fase de Bouy.

BIBLIOGRAFIA

Saleh, Cap. 3, secções 3.1, 3.2

Aula Teórica 03-04-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 03-04-2017 18:19

23 *****

Ondas gaussianas (cont.) (8/14)

Ondas gaussianas: análise da distribuição espacial da fase.

Cavidades ressonantes e fixação dos parâmetros de uma onda gaussiana; estabilidade de uma cavidade.

Generalidades sobre o funcionamento de lasers: cavidades ressonantes, bombeamento, emissão espontânea e emissão estimulada. Funcionamento em modo pulsado ou contínuo.

Modos de Hermite-Gauss.

Aula Teórica 05-04-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 05-04-2017 17:32

24 *****

Ondas (8/14)

Ondas de Hermite-Gauss e de Laguerre-Gauss.

Modos. Bases de funções para decomposição de ondas em termos das funções de base.

Ondas de Bessel.

Sistemática de todas as ondas descritas nas aulas anteriores.

BIBLIOGRAFIA

Saleh, Fundamentals of Photonics, secções 3.3, 3.4

Aula Teórica 06-04-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - Não existe informação quanto ao número de alunos que assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 06-04-2017 16:18

25 *****

Propagação e Difracção (8/13)

Conclusão da matéria anterior:

Semelhanças entre a Eq. Helmholtz Paraxial e a Equação de Schrodinger. Relevância das diversas famílias de soluções da 1ª, no contexto da 2ª.

Como se seleccionam os vários modos gaussianos possíveis no contexto de um laser? Ganhos e formas de introduzir percas numa cavidade.

Princípio de Huyghens-Fresnel (PHF)

Generalização ondulatória do princípio (geométrico) de Huygens.

Integração da equação de Helmholtz e PHF.

Interpretação física do PHF. Chamada de atenção para os diversos aspectos que irão ser explorados em aulas futuras.

BIBLIOGRAFIA

J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, Cap. 3 (disponível e é um livro de referência em Óptica)

Este capítulo descreve em detalhe como é que o PHF pode ser recuperado com base na integração rigorosa da equação de Helmholtz. Chama-se, em particular a atenção para as secções 3.1 a 3.7.

As aulas seguintes serão orientadas para a explicação do conteúdo do capítulo 4 do mesmo livro, que será objecto de avaliação em exame.

Aula Teórica 10-04-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 10-04-2017 21:55

26 *****

Aula suspensa (9/14)

Comemorando-se o dia de aniversário da FCUL, o Director suspendeu as aulas na parte da tarde, num período que incluía a Aula Teórica prevista.

Aula Teórica 19-04-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - Não existe informação quanto ao número de alunos que assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 20-04-2017 19:25

27 *****

Difracção: Fresnel e Fraunhofer (9/14)

Aproximação de Fresnel; condições de validade; exemplos.

Aproximação de Fraunhofer: condições de validade, exemplos. Factores que determinam a escala do padrão de difracção.

Aplicabilidade da aproximação de campo longínquo à situação em que o campo é observado no plano focal de uma lente.

Introdução à transformação de Fourier (TF): definição e principais propriedades, com particular ênfase para as propriedades da TF perante uma translação ou perante a mudança de escala da função a transformar,

BIBLIOGRAFIA

J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics (3ª edição)

Aproximações de Fresnel e de Fraunhofer

4.1.2

4.2 - parte inicial, páginas 66-67

4.2.2 - pág. 68-69

4.3 - pág. 74-75

Transformação de Fourier

secção 2.1.1 - pág.4-6

secções 2.1.3 a 2.1.6: pág.7-15

Aula Teórica 20-04-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 20-04-2017 19:41

28 *****

Falta (9/13)

Falta do docente

Aula Teórica 24-04-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - Não existe informação quanto ao número de alunos que assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 26-04-2017 18:41

29 *****

Difracção e transformação de Fourier (10/14)

Apresentação de um novo glossário de fórmulas.

Transformação de Fourier: definição, propriedades.

Apresentação de algumas funções úteis em óptica: rect, sinc, circ, comb e respectivas transformadas de Fourier.

Análise de fase quadrática: cálculo da frequência instantânea (t) ou local (x), sinais trinados (chirped) e sua utilização.

Re-análise da aproximação de Fraunhofer no contexto da transformação de Fourier.

Aula Teórica 26-04-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 26-04-2017 18:44

30 *****

Difracção (10/14)

Função de transmissão em amplitude de rectângulos e de círculos; escala.

Cálculo do espectro de difracção de Fraunhofer de aberturas rectangulares e análise das suas principais características.

Cálculo do espectro de difracção de Fraunhofer de aberturas circulares e análise das suas principais características.

Modelação da função de transmissão em amplitude de uma rede de difracção de amplitude, de perfil sinusoidal, inscrita numa abertura quadrada.

BIBLIOGRAFIA:

J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, secções 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 (pág. 75-82)

Aula Teórica 27-04-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 20 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 27-04-2017 16:52

31 *****

Difracção. Critério de Rayleigh (11/14)

Redes de difracção em amplitude, sinusoidais: tratamento matemático simplificado, a 1D.

Principais características do espectro (ordens, separação, repartição de energia, sensibilidade). Breve referência qualitativa a redes sinusoidais de fase: descrição, espectro, ordens ausentes, repartição de energia. Exemplos.

BIBLIOGRAFIA: Goodman, Introduction to Fourier Optics, secção 4.4.3 + 4.4.4

Conceito geral de Função de Transmissão em Amplitude (FTA): efeitos sobre o módulo e a fase da onda incidente.

BIBLIOGRAFIA: Saleh, Fundamentals of Photonics, secção 3.4-B

FTA de uma lente simples, dotada de uma abertura circular.

BIBLIOGRAFIA: Goodman, Introduction to Fourier Optics, secção 5.1 - basicamente, eq. 5.10 e sua construção geral.

Uma lente simples como objecto difractante, no regime de Fresnel: cálculo da amplitude no plano focal. Aplicação a telescópios e ao olho humano.

BIBLIOGRAFIA: Goodman, Introduction to Fourier Optics, secção 4.2 - recordar a equação 4.17, considerando que o campo à entrada é a FTA completa de uma lente simples.

Conceito de resolução. Critério de Rayleigh.

BIBLIOGRAFIA: Hecht, Optics, secção 10.2.6

Os slides usados nas últimas aulas estão disponibilizados em "Elementos de Estudo"

[Aula de 3-5-201 - Difraccção, resolução e critério de Rayleigh](#)

Aula Teórica 03-05-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 03-05-2017 18:45

32 *****

Difraccção (11/14)

Consolidação de alguns aspectos da aula anterior:

Critério de Rayleigh; questões dependentes da sensibilidade e dimensões geométricas do sensor utilizado (olho, sensores optoelectrónicos); algumas referências superficiais ao conceito e impacto da coerência da radiação na efectiva resolução de um instrumento.

Redes de difraccção: limitação natural da largura de banda analisável, por força da sobreposição espectral entre ordens contíguas.

Exemplos de diversos tipos de pupilas em telescópios e seu impacto na distribuição da irradiância no plano focal (PSF ou Point Spread Function): pupilas anulares, suportes mecânicos do secundário, efeitos das aberrações não corrigidas do sistema óptico (e sua modelação no argumento da FTA da lente).

Relação entre a noção de "par objecto / imagem" em óptica geométrica e a formação de imagem em óptica ondulatória: referência qualitativa ao mecanismo que, através da propagação e difraccção, permite relacionar a Amplitude Complexa imagem com a convolução entre a PSF e a Amplitude Complexa objecto (escalada pela ampliação transversa geométrica), mas apenas entre planos que satisfaçam a equação dos planos conjugados.

BIBLIOGRAFIA - ver aula anterior.

Aula Teórica 04-05-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 35 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 04-05-2017 18:55

33 *****

Interferências (10/13)

Introdução às interferências

Identidades trigonométricas relativas à soma e ao produto de sin e/ou cos; aplicações a 1D (modulação, heterodinagem)

Exemplos de interferogramas em metrologia óptica, análise de fluidos, análise de vibrações, interferometria radar.

Classificação dos interferómetros em: divisão de frente de onda / divisão de amplitude; dois feixes / feixes múltiplos. Exemplos: Young, biprisma de Fresnel, Maxwell (e diversas variantes); breve referência à detecção de ondas gravitacionais e ao interferómetro LIGO.

Matemática da interferometria: cálculo da irradiância para duas ondas; estrutura do termo de interferências, diferença de fase entre as ondas interferentes.

BIBLIOGRAFIA (para todo o capítulo de Interferometria)

Ver pdf de dois capítulos do Handbook of Optics, disponibilizado em "Elementos de Estudo", no Fénix.

Aula Teórica 08-05-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 08-05-2017 19:06

34 *****

Interferências (12/14)

Visualização de um padrão típico de um OCT,

Visualização de padrões de Moiré entre padrões lineares e circulares; analogia com a interferometria.

Interferência entre ondas planas; localização dos máximos e dos mínimos; caso em que as intensidades são idênticas; noção de

Visibilidade (ou contraste) e Grau Complexo de Coerência.

Interferência entre ondas esféricas; os hiperboloides, como lugar geométrico de máximos e de mínimos.

Interferência entre ondas planas e esféricas; placa zonal de Fresnel; menção ao holograma de um ponto e às lentes para raios-X.

Interferência entre ondas com diferentes frequências (num dado ponto): batimentos, heterodinagem.

Próxima aula: interferência entre um número arbitrário de ondas.

BIBLIOGRAFIA - ver aula de 8-5-2017

Aula Teórica 10-05-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 35 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 10-05-2017 17:12

35 *****

Interferências de feixes múltiplos (12/14)

Família de ondas com a mesma intensidade e cujas fases variam regularmente: rede de difracção (2D) e difracção em regime de Bragg (3D).

Famílias de ondas com percas. Função de Airy. Finesse; noção de gama espectral livre (fsr).

Análise da lâmina de faces paralelas.

Análise da cavidade ressonante de um laser; fixação dos modos longitudinais para os quais ocorrem interferência construtiva;

conceito de étalon e sua utilização na redução do número de modos longitudinais de um laser;

Análise do funcionamento de um espectrómetro de Fabry-Perot (analisador espectral).

Análise de um pente de frequências e sua utilização na constituição de impulso ultra-curtos.

Bibliografia

Ver aula de 8-5-2017.

Ver alternativamente, Saleh, Fundamentals of Photonics, secção 2.5, pág.59-66 + pág. 71 (pente de frequências)

Aula Teórica 11-05-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 11-05-2017 16:19

36 *****

Interferometria (11/13)

Interferência de feixes múltiplos: perfil das franjas e função das lentes para implementação da sobreposição das ondas.

Interferómetro de Fabry-Perot - análise da sua constituição (fonte extensa e lentes) e características das franjas,

Interferómetro de Young e variantes; interferómetros redutíveis ao de Young.

Interferómetro de Fizeau e variantes

Interferómetro de Michelson e variantes: medida de deslocamentos; OCT, LIGO.

Interferómetro de Mach-Zehnder

BIBLIOGRAFIA: ver referências nas aulas anteriores.

Aula Teórica 15-05-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 25 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 15-05-2017 17:59

37 *****

Interferometria. Introdução à Óptica Electromagnética (13/14)

Interferometria: aspectos complementares diversos relativos a:

Fizeau: franja central em interferogramas e equações de Fresnel:

Michelson: Espectroscopia de Fourier, Frequency Sweeping Interferometry;

Twyman-Green, como variante do interferómetro de Michelson, e medida de aberrações de lentes

Mach-Zehnder: franjas de fundo, localização das franjas.

Resumo dos aspectos essenciais de Interferências.

Introdução à Óptica Electromagnética (OE):

Equações de Maxwell e identificação das diversas constantes materiais.

Relações constitutivas: $\mathbf{D}=\mathbf{D}(\mathbf{E},\mathbf{P})$, $\mathbf{B}=\mathbf{B}(\mathbf{H},\mathbf{M})$.

Relações materiais: $\mathbf{J}=\mathbf{J}(\mathbf{E})$, $\mathbf{P}=\mathbf{P}(\mathbf{E})$, $\mathbf{M}=\mathbf{M}(\mathbf{H})$.

Forma das equações de Maxwell no vazio e construção da equação de ondas.

BIBLIOGRAFIA DE ÓPTICA ELECTROMAGNÉTICA

Saleh B.E.A., Teich M.C., Fundamentals of Photonics (Wiley, 2007) - Capítulo 5 (5.1 --> 5.5)

PRÓXIMAS 5 AULAS (ATÉ AO FINAL DO SEMESTRE)

18-5-2017 - Relações $\mathbf{P}(\mathbf{E})$, Susceptibilidade. Ondas planas

22-5-2017 - Equações de Fresnel

24-5-2017 - Dieléctricos - dispersão e absorção - modelo de Lorentz

25-5-2017 - Óptica dos Metais - modelo de Drude

29-5-2017 - Aspectos complementares.

Aula Teórica 17-05-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 35 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 18-05-2017 13:02

38 *****

Caracterização EM de meios materiais (13/14)

Estrutura formal do Electromagnetismo. Vector de Poynting. Equações de Maxwell no vazio. Equações de Maxwell num meio. Distinção simplificada entre isolantes, condutores e semicondutores, com base na teoria de bandas. Tipologia da relação $\mathbf{P} = \mathbf{P}(\mathbf{E})$ para materiais lineares, dispersivos, homogéneos, isotrópicos (e respectivos opostos). Meios lineares, isotrópicos e não dispersivos. Susceptibilidade, permitividade eléctrica, índice de refração e relações entre eles. Meios não homogéneos e meios anisótropos. Equações de Maxwell para ondas monocromáticas: Caso particular das ondas planas e suas características: transversalidade, impedância.

BIBLIOGRAFIA

Saleh, Fundamentals of Photonics, secções 5.1 (todo), 5.2 (todo), 5.3 (todo), 5.4A (ondas planas, apenas)

PRÓXIMA AULA (22-5-2017)

Equações de Fresnel

Aula Teórica 18-05-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 15 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 18-05-2017 16:13

39 *****

Equações de Fresnel (12/13)

Condições fronteira: continuidades das componentes normais de \mathbf{B} e de \mathbf{D} , e das componentes tangenciais de \mathbf{E} e de \mathbf{H} . Definição da geometria para as polarizações paralela e perpendicular ao plano de incidência. Coeficientes de reflexão e de transmissão em amplitude para os campos eléctricos incidente, reflectido e transmitido. Equações de Fresnel, em modos TE e TM. Particularidades para meios não magnéticos. Coeficientes de Fresnel para reflexão externa e para reflexão interna. Análise do comportamento e do sinal dos coeficientes de Fresnel. Lei de Brewster; geração de luz polarizada por lasers. Ângulo crítico. Reflectância e Transmitância. Caso particular da incidência normal.

BIBLIOGRAFIA:

Hecht E., Optics (4ª ed.), (Cap. 4.6, 4.7)

PRÓXIMA AULA (24-5-2017):

Absorção e dispersão. Modelo de Lorentz (dieléctricos)

Aula Teórica 22-05-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 25 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 22-05-2017 18:53

40 *****

Ondas EM em dieléctricos (14/14)

Revisão da aula do dia 18-5-2017: Relações $\mathbf{P}(\mathbf{E})$ e relações entre grandezas ópticas: susceptibilidade, constante dieléctrica, permitividades e índice de refração.

Consequências formais de uma susceptibilidade complexa: Lei de Beer; número de ondas e índice complexo, e relação entre as constantes ópticas (n e absorção) e as partes real e imaginária da susceptibilidade.

Alguma fenomenologia da dispersão: exemplos; Número de Abbe.

Modelo de Lorentz: oscilador harmónico forçado; susceptibilidade complexa, análise do comportamento das partes real e imaginária nas várias situações. Perfil de risca de Lorentz.

Material com várias ressonâncias: comportamento geral de n e do coeficiente de absorção. Dispersão normal e dispersão anómala.

Breve referência ao controlo da velocidade da luz em materiais, em torno das frequências de ressonância.

BIBLIOGRAFIA

Saleh, cap. 5.5-B, 5.5-C

PRÓXIMA AULA

Propriedades ópticas dos metais (modelo de Drude)

Aula Teórica 24-05-2017 16:00 (Sala: 8.2.30) - 25 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 25-05-2017 16:32

41 *****

Óptica dos metais (14/14)

Alguns elementos adicionais relativos à lei de Beer-Lambert: absorção e scattering como factores de atenuação, tantos quantos as espécies e os mecanismos físicos aplicáveis.

Óptica dos metais

Equações de Maxwell para ondas monocromáticas e permitividade eléctrica efectiva.

Modelo de Drude, e modelos para a condutividade estática e dinâmica. Frequência de Plasma.

Análise da variação da constante de propagação, de n e do coeficiente de absorção com a frequência.

Comportamento de metais a alta frequência.

Análise da "cor" dos metais, em função da relação entre a frequência de plasma e o valor da frequência da onda.

Breve referência ao conceito de Plasmão.

BIBLIOGRAFIA

Saleh, cap. 5.5-D

Aula Teórica 25-05-2017 15:00 (Sala: 6.1.36) - 25 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 25-05-2017 16:32

42 *****

Óptica não linear. Polarização (13/13)

Óptica Não-linear

Polarização não linear; abordagem geral para relações $\mathbf{P}(\mathbf{E})$ quadráticas e cúbicas; breve referência a geração de harmónicas, eletro-óptica, soma e diferença de frequências, conjugação de fase e efeito de Kerr, $n(I)$.

Polarização

Plano de polarização, elipse de polarização; casos da polarização linear, elíptica, circular; modelo para luz não polarizada.

Geração de polarização por reflexão, dicroísmo; breve menção à origem do comportamento de materiais cristalinos

birrefringentes; ilustração com o caso particular da calcite.

Bibliografia:

Óptica não-linear

Saleh, cap. 21, aspectos qualitativos ou descritos graficamente das secções 21.1 (secção introdutória), 21.2-A,B, C, e 21.3-A

Polarização

Saleh, secção 6.1 (até à esfera de Poincaré), 6.6-A.

Hecht, cap. 8, secções: 8.1.1 - 8.1.4, 8.3.1 (dicroísmo) 8.4.1 (calcite, descrição qualitativa)

43 *****

Conclusão da disciplina

Aulas de dúvidas; dias 14, 20 e 21 de junho, 15h - ver Fénix, Informações Úteis.

Aula Teórica 29-05-2017 15:00 (Sala: 8.2.30) - 20 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 29-05-2017 17:36