

2021 / 22 - ONDAS, ACÚSTICA E ÓPTICA

SUMÁRIOS

TEMAS	AULAS
Espectros. Interação da radiação com a matéria. Fontes de luz	1, 2
Óptica Geométrica - geral	3 - 13
Óptica Geométrica – olho humano	14-15
Óptica Geométrica – sistemas	16-19
Ondas – geral	19-28
Ondas – soluções, ondas luminosas	29-31
Interferometria	32-34
Propagação e Difracção	35-37

37

Difracção: objectos e lentes. Resolução (14/14)

Parte 4.1 do ficheiro Power Point

Difracção de uma abertura rectangular. Função sinc (sin cardinal). Principais características do padrão de irradiância: zeros, lobos, dependências nas dimensões da abertura rectangular. Caso limite de uma fenda e equação que localiza a posição angular dos mínimos de irradiância do padrão de difracção de uma fenda.

Difracção de uma abertura circular. Função Sombrero ou Chapéu Mexicano. Função de Bessel J1. Características do padrão, designadamente raio do lobo central (disco de Airy).

Difracção por uma rede de difracção sinusoidal de amplitude numa envolvente rectangular. Identificação das características do espectro que dependem da envolvente e da frequência e modulação, m , da rede. Ordens de difracção e sua dependência com a frequência da rede. Utilização de redes de difracção em espectroscopia.

Difracção por uma rede de difracção sinusoidal de fase numa envolvente rectangular. Identificação das características do espectro que dependem da envolvente e da frequência e modulação, m , da rede. Distribuição de energia pelas várias ordens em função do valor das funções de Bessel de ordem n para a modulação da rede.

Padrão de difracção de duas fendas paralelas – experiência de Young. Generalização para N fendas. Identificação da função do padrão de fenda única como envolvente e moduladora de um padrão sinusoidal que decorre da interferência entre ondas múltiplas (situação já contemplada na análise interferométrica).

Parte 4.2 do ficheiro Power Point

Difracção de uma onda plana por uma lente finita com envolvente circular e cálculo do padrão de difracção no plano focal da lente. Escrita da FTA de uma lente como objecto de amplitude e de fase, contemplando a função Pupila.

Relação com a situação de formação de imagem de objectos no infinito. Imagem limitada por difracção para pupilas circulares.

Critério de Rayleigh para a resolução de um sistema óptico.

Exemplos de outras funções pupilas típicas de telescópios, em que as estruturas que sustêm o secundário impedem a livre propagação da luz, difractam-na e têm impacto na distribuição de energia no espectro de difracção da pupila, que será a “imagem” não pontual de um objecto no infinito.

CONCLUSÃO DA DISCIPLINA

BIBLIOGRAFIA

Indicada no Power Point

AULAS DE DÚVIDAS

Os docentes estão disponíveis para realizar, na FCUL aulas de dúvidas organizadas pelos alunos. Não existirão grandes limitações. JMR está ainda disponível por Zoom sempre que necessitarem, para alunos individuais ou para pequenos grupos que estejam a estudar em conjunto. Contactem-me por mail (imreboardao@fc.ul.pt). A minha sala Zoom é:

<https://videoconf-colibri.zoom.us/j/97901539222>.

Aula Teórica 17-12-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 20 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 17-12-2021 19:04

36

Difracção - Função de Transmissão em Amplitude (FTA) (11/11)

Parte 1 – Princípio de Huygens-Fresnel e aproximações de Fresnel e de Kirchoff (continuação)

Alguns exemplos da difracção de Fraunhofer: abertura rectangular, circular; redes de rectângulos finos (fendas) ou distribuições periódicas 2D de aberturas rectangulares. Aplicabilidade do integral de difracção (Fraunhofer) no caso em que o espectro de difracção se forme no plano focal de uma lente, com a separação a entre os planos (do objecto difractante e de observação) substituída pela distância focal da lente, f .

Dependência da escala do espectro no comprimento de onda. Princípio de Babinet.

Principais características e diferenças entre a difracção de campo próximo, intermédio e longínquo, designadamente em termos de alterações de forma e/ou da escala.

Parte 2 – Descrição dos objectos difractantes através da função de transmissão em amplitude (FTA).

Conceito de FTA, como razão entre as amplitudes emergente e incidente num objecto difractante. Significado do módulo e da fase da FTA. Objectos de fase e de amplitude.

Construção da FTA de lâminas de faces paralelas em incidência normal ou oblíqua. FTA geral de objectos embebidos com envolvente paralelepípedica. Aplicação a prismas. Lentes, redes de difracção de fase e de amplitude, aberturas rectangulares e aberturas circulares. Utilização do rect e do circ (por exemplo) para descrever a geometria (forma e dimensões) de um elemento óptico, e antevisão da sua extrema importância para a determinação da resolução de um sistema óptico.

PRÓXIMA AULA

Parte 4 – Difracção por aberturas e redes de difracção. Efeitos das lentes e resolução. Critério de Rayleigh. Exemplos.

BIBLIOGRAFIA

Saleh, Teich - Fundamentals of Photonics – Secções 2.4, 3.2.A, 3.2.B e 3.2.C

Power Point das aulas - Partes 1 e 2

Aula Teórica 15-12-2021 17:30 (Sala: 6.2.53) - 15 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 15-12-2021 23:45

35

Propagação e Difracção (13/13)

Princípio de Huygens-Fresnel: generalização do princípio de Huygens alterando a natureza das ondículas virtuais, encaradas nos termos da óptica ondulatória. Comparação com o Integral de Rayleigh-Sommerfeld, solução da equação de Helmholtz para campos que tendam para 0 no infinito e que sejam nulos fora dos limites da abertura difractante. Breve referência ao spot de Arago / Poisson.

Aproximações de Fresnel e de Fraunhofer do integral de difracção e respectivas condições de validade, em termos da distância entre o plano do objecto difractante e o plano de observação. Exemplos de difracção nas condições de aproximação de Fresnel. Breve referência à transformada de Fourier na relação entrada / saída na aproximação de Fraunhofer.

PRÓXIMA AULA

Aproximação de Fraunhofer: exemplos. Princípio de Babinet. Padrões. Representação de objectos através da respectiva função de transmissão em amplitude.

BIBLIOGRAFIA

J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics – cap. 4

Hecht E., Optics (5ª ed.), 4.4.2, (Cap. 10 & 7)

Aula Teórica 14-12-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 25 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 14-12-2021 18:37

34

Interferometria (13/14)

Interferómetros de feixes múltiplos:

Sem percas – funcionamento da rede de difracção 2D, revestimentos múltiplos em superfícies; equação das redes, lei de Bragg. Breve referência aos phased arrays, tanto em emissão como em detecção, e breve referência à relevância deste fenómeno na sincronização dos vários radio-telescópios no contexto da formação da imagem de um buraco negro.

Com percas – matemática; finesse. Aplicação à cavidade ressonante de um laser, igualmente explicável através da constituição de padrões de ondas estacionárias entre os dois espelhos, que implementam condições-fronteira.

Análise de uma lâmina de faces paralelas, função de uma lente positiva na implementação da sobreposição entre feixes luminosos. Interferómetro de Fabry-Perot, arquitectura, aplicação em espectroscopia.

Interferómetros de divisão de frente de onda: Young, bi-prisma de Fresnel.

Interferómetros de divisão de amplitude: Fizeau e Michelson.

PRÓXIMA AULA

Outros interferómetros de divisão de amplitude e algumas aplicações. Difracção e propagação de ondas.

BIBLIOGRAFIA

Saleh; Power Point das aulas.

Aula Teórica 10-12-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 10-12-2021 15:49

33

Interferometria (12/13)

Interferência entre duas ondas, conclusão.

Interferência entre ondas esféricas: padrão 3D como famílias de hiperbolóides no espaço; casos particulares, Young e Michelson.

Interferência entre uma onda plana e uma onda esférica: padrão de interferências, placa zonal de Fresnel, constituição de lentes para raios X.

Interferência entre ondas com diferentes frequências: batimentos, breve menção à heterodinagem.

Pente de frequências, cálculo do padrão temporal de interferências.

Conjunto de M ondas igualmente espaçadas em fase, sem percas: cálculo do padrão de interferências. Aplicação a redes de difracção.

PRÓXIMA AULA

Aplicações da última situação da aula anterior

Famílias de ondas igualmente espaçadas em fase, com percas.

BIBLIOGRAFIA

Power Point de Interferometria e bibliografia nele referida.

Aula Teórica 07-12-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 07-12-2021 16:27

32

Interferometria (12/14)

Exemplos de interferogramas associados a diversas situações física.

Matemática da interferometria. Casos específicos sobre ondas EM (vectoriais), em que ondas com polarizações perpendiculares não interferem, ou sobre ondas planas monocromáticas.

A função do tempo de integração do detector no caso de ondas, tais como as luminosas, com tempos de variação muitas ordens de grandeza inferiores; valores médios da irradiância como observáveis.

Condições de interferência construtiva e destrutiva. Contraste dos padrões de interferência e definição de Visibilidade. Breves referências ao estatuto da visibilidade em teoria da coerência, e às próprias noções limite de coerência e de incoerência.

Interferência entre ondas planas: análise da irradiância do padrão de interferências.

PRÓXIMA AULA

Interferência com ondas planas e com ondas esféricas. Interferência com ondas de frequências próximas. Interferência entre ondas múltiplas em pente de frequência. Exemplos.

BIBLIOGRAFIA

Saleh. Power Point das aulas (ppsx)

Nota: o ficheiro disponibilizado é mais completo do que o que vai ser dado na teórica e exigido em termos de avaliação. Devem ser sempre consultados os sumários]

Aula Teórica 03-12-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 35 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 03-12-2021 15:48

31

Ondas de Hermite e de Laguerre- Gauss (11/13)

Determinação dos parâmetros de um feixe gaussiano no interior de uma cavidade ressonante de espelhos esféricos. Conceito de estabilidade de uma cavidade ressonante.

Lasers: funcionamento geral. Papeis assumidos pela cavidade ressonante; fixação do eixo, controlo do ganho (amplificação óptica), determinação dos modos estacionários (discretização das frequências compatíveis com as condições fronteira impostas na fronteira).

Feixes de Hermite-Gauss e de Laguerre-Gauss. Breve menção aos vórtices ópticos e ao transporte de momento angular por uma onda EM. Feixes de Bessel. Explicitação do formulário de fórmulas.

Overview da biblioteca de soluções já conhecidas da equação de Helmholtz e reforço na geração de soluções mais complexas recorrendo à linearidade da equação de ondas, sobretudo em termos de conjuntos de funções que constituam uma base de funções. Reforço

Breve referência a diversas famílias de funções especiais da Física-Matemática: polinómios de Hermite, de Laguerre, funções de Bessel; ilustração de algumas das suas características mas relevantes. Existência do NIST Digital Library of Mathematical Functions (<https://dlmf.nist.gov/>).

PRÓXIMA AULA

Interferências

BIBLIOGRAFIA

Saleh

Aula Teórica 30-11-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 30-11-2021 17:24

30

Feixes gaussianos (11/14)

Revisão dos conceitos mais relevantes da aula anterior: ondas esféricas, paraboloidais, paraxiais, equação de Helmholtz Paraxial.

Análise da amplitude complexa dos feixes gaussianos em termos de amplitude (distribuição transversa da irradiância, fluxo, divergência, atenuação com a distância) e de fase (factores de onda plana, parabólica, termo de Gouy).

Importância dos feixes gaussianos como modos das cavidades ressonantes, designadamente em lasers.

PRÓXIMA AULA

Fixação do plano da cintura de feixes gaussianos. Estabilidade das cavidades ressonantes. Modos gaussianos de Hermite e Laguerre. Outros feixes.

BIBLIOGRAFIA

A mesma da aula anterior

Aula Teórica 26-11-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 26-11-2021 17:51

29

Famílias de ondas EM (10/11)

Ondas planas. Ondas esféricas. Ondas parabólicas. Ondas paraxiais; equação de Helmholtz paraxial. Ondas Gaussianas, características gerais.

PRÓXIMA AULA

Propriedades das ondas gaussianas. Ondas Gaussianas associadas a diferentes modos transversos. Cavidades ressonante e ondas gaussianas. Lasers: cavidades ressonantes.

BIBLIOGRAFIA

Saleh B.E.A., Teich M.C., Fundamentals of Photonics (ch. 2) - *referência*

Hecht E., Optics (5ª ed.), (Cap. 2, secções 2.1, 2.2, 2.4, 2.5, 2.7, 2.8, 2.9)

Ondas gaussianas

Saleh B.E.A., Teich M.C., Fundamentals of Photonics, Cap. 3, secções 3.1, 3.3 e 3.4

Aula Teórica 24-11-2021 17:30 (Sala: 6.2.53) - 25 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 24-11-2021 18:38

28

Óptica Ondulatória (10/13)

Efeito Doppler

Equações relativas aos casos em que a fonte ou o observador se deslocam.

Variante do desvio de Doppler: movimento relativo não colinear, efeito relativista, aproximação para pequenas velocidades (relativas à velocidade da onda no meio).

Breve referência à representação de funções periódicas por séries de senos e cossenos (teoria de Fourier). Exemplos em 1D e em 2D (redes de difracção). Brevíssima referência ao integral de Fourier no caso de funções não periódicas – basicamente uma soma em que a frequência dos cossenos varia continuamente e não por múltiplos de uma frequência fundamental

Óptica ondulatória

Estrutura matemática do Electromagnetismo. Construção da equação de ondas para qualquer componente dos campos. Exploração da equação de ondas escalar e caso da “Óptica Ondulatória”

Ondas periódicas no tempo ou ondas monocromáticas. Sua generalização através de dependência espacial da amplitude e da fase. Amplitude complexa. Equação de Helmholtz. Relação de dispersão.

Integração da equação de Helmholtz por variáveis separadas: onda plana monocromática. Análise das frentes de onda e questões energéticas.

PRÓXIMA AULA

Ondas esféricas, parabólicas, paraxiais; equação de Helmholtz paraxial; ondas gaussianas.

BIBLIOGRAFIA

Saleh, Fundamentals of Photonics, Cap. 2 (secções 2.1 e 2.2)

Aula Teórica 23-11-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 35 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 23-11-2021 22:08

27

Ondas. Dissipação. Doppler (10/14)

Reflexão interna total: exemplos.

Reflectância e transmitância; conceito e sua relação com os 4 coeficientes de Fresnel.

Incidência normal e plano de incidência. Reflectância normal, valores típicos.

Alteração da equação de ondas de modo a poder contemplar dissipação, no caso de cordas vibrantes e validade da 2ª lei de Newton. Resolução da nova equação de ondas. Emergência de um k complexo. Interpretação física das partes real e imaginária do k . Interpretação da forma final da solução para a função de onda real.

Situações de dissipação no caso de ondas EM e lei de Beer-Lambert. Coeficiente de atenuação e suas unidades. Utilização operacional da parte real e da parte imaginária de k .

Efeito Doppler: apresentação de diversos casos em função da velocidade da fonte em relação ao observador. Fontes sonoras ou luminosas. Referência rápida a inúmeras aplicações concretas do efeito Doppler.

PRÓXIMA AULA

Efeito Doppler. Ondas luminosas (em 3D).

BIBLIOGRAFIA

Power Point das aulas e referências nele assinaladas.

Aula Teórica 19-11-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 19-11-2021 16:39

26

Equações de Fresnel (9/11)

Condições de continuidade para ondas electromagnéticas, com funções de onda vectoriais (campo eléctrico): continuidade das componentes tangenciais de E e H, e das componentes normais de D e B. Geometria: plano de incidência, polarização paralela e perpendicular. Cálculo das componentes tangenciais e normais a uma superfície com expressões vectoriais simples.

Apresentação das 4 equações de Fresnel em reflexão e em transmissão, para as duas polarizações paralela e perpendicular. Formas que as equações de Fresnel podem tomar para meios não magnéticos. Lei e ângulo de Brewster.

Análise gráfica dos coeficientes de Fresnel, na sua representação complexa polar, em termos do módulo e do argumento. Significado dos coeficientes reais negativos.

No contexto da reflexão interna total, breve referência às ondas evanescentes, à reflexão interna total frustrada e às suas aplicações (tais como microscopia de campo próximo, efeito túnel, acoplamento da luz a dispositivos de óptica guiada...

Breve esquematização da propagação da luz em meios materiais, com base na sobreposição da onda inicial criadora de dipolos e nas ondas geradas por tais dipolos enquanto existentes.

PRÓXIMA AULA

Complementos relativos aos coeficientes de Fresnel. Ondas e dissipação. Efeito Doppler

BIBLIOGRAFIA

Equações de Fresnel - Hecht, Optics, secções 4.6, 4.7.0

Saleh B.E.A., Teich M.C., Fundamentals of Photonics (2ª ed.) (secção 6.2)

Freegarde, cap. 11.

Aula Teórica 17-11-2021 17:30 (Sala: 6.2.53) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 17-11-2021 21:48

25

Ondas: condições de continuidade (9/13)

Revisão rápida da aula de 9-11-2021, pois poucos alunos tinham estado presentes:

A - resolução de equações diferenciais de 2ª ordem, condições fronteira e seu impacto nas soluções estacionárias (corda vibrante), modos em ondas estacionárias, discretização das duas frequências angulares e do comprimento de onda, frequência fundamental e harmónicas, timbre.

B - Sobreposição de ondas harmónicas: utilização das identidades trigonométricas para interpretar a soma de ondas; modulação / desmodulação; criação de grupos de ondas; velocidade de grupo; exemplo relativo à geração de impulsos luminosos.

Condições de continuidade em ondas, com base no exemplo de uma corda vibrante com secções com diferentes densidades. Coeficientes de reflexão e de transmissão em amplitude. Caso das ondas luminosas.

PRÓXIMA AULA

Equações de Fresnel para ondas luminosas e coeficientes de reflexão e de transmissão em amplitude.

BIBLIOGRAFIA

Freegarde. Power Point das aulas (actualizado em 16-11-2021)

Aula Teórica 16-11-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 16-11-2021 16:48

24

Aula de dúvidas de Óptica Geométrica (9/14)

Aula de dúvidas de Óptica Geométrica, no contexto de um teste em 13-11-2021

Aula Teórica 12-11-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 50 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 13-11-2021 08:39

23

Sobreposição de ondas (8/11)

Soluções gerais das equações diferenciais de 2ª ordem, $y''+cy=0$, em função do sinal de c .

Ondas estacionárias: imposição de condições de fronteira nos extremos de uma corda vibrante; discretização dos valores possíveis das duas frequências angulares e do comprimento de onda que a corda permite suportar.

Modos: modo fundamental; harmónicas.

Timbre (acústico) e sua relação com o espectro de modos e com a sua amplitude relativa; exemplos.

Identidades trigonométricas para somas, produtos e diferenças. Breve referência aos conceitos de modulação e de heterodinagem; exemplos.

Sobreposição de duas ondas harmónicas: batimentos; grupos; construção da velocidade de grupo.

Exemplo; constituição de pulsos luminosos muito curtos com base na sobreposição de inúmeras ondas harmónicas, disponibilizadas pela transição radiativa de fluorescência do material.

PRÓXIMA AULA (12-11-2021)

Dúvidas de Óptica Geométrica

AULA SEGUINTE (3ªf)

Revisão da aula de 10-11-2021. Condições de continuidade.

BIBLIOGRAFIA

Freegarde. Powerpoint das aulas

Aula Teórica 10-11-2021 17:30 (Sala: 6.2.53) - 10 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 10-11-2021 21:11

22

Linearidade da equação de ondas (8/13)

A equação de ondas como equação diferencial linear, e geração de soluções por combinação linear de soluções simples. Breve referência à geração de soluções através de séries e de integrais de Fourier. Utilização de exponenciais complexas para substituição dos senos, isto é, utilização dos sinais analíticos em física que têm o sinal físico na sua parte real.

As ondas harmónicas da equação de ondas 3D, relativa a ondas electromagnéticas, como modelo de ondas luminosas monocromáticas. Solução harmónica geral, com amplitudes e fases espaciais. Definição da amplitude complexa. A equação de Helmholtz que determina a amplitude complexa. Modelo de ondas não-monocromáticas.

Energia e potência de uma onda luminosa; e sua relação com o quadrado da amplitude - análise do caso particular de uma onda numa corda vibrante.

Ondas estacionárias: integração da equação de ondas por separação de variáveis. Demonstração de que as ondas estacionárias são redutíveis à soma de duas ondas harmónicas.

PRÓXIMA AULA

Ondas estacionárias. Modos. Trens de onda. Velocidade de grupo. Condições de continuidade.

BIBLIOGRAFIA

Freegarde. Power Point das aulas.

Aula Teórica 09-11-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 09-11-2021 17:47

21

Equação de ondas e suas soluções (8/14)

Ondas transversas e longitudinais.

Solução da equação de ondas 1D, exemplos.

Solução harmónica: análise da estrutura matemática da fase e identificação dos vários períodos, frequências lineares e angulares.

PRÓXIMA AULA

Ondas EM monocromáticas: descrição através de exponenciais complexas; amplitude complexa; equação de Helmholtz. Linearidade e geração de soluções por transformações de Fourier.

Energia e potência associadas a uma onda numa corda.

Ondas estacionários; características

BIBLIOGRAFIA

Freegarde. Power point das aulas

<https://phet.colorado.edu/en/simulations/filter?subjects=sound-and-waves&type=html&sort=alpha&view=grid>

Aula Teórica 05-11-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 05-11-2021 15:39

20

Equação de ondas (7/11)

Construção da equação de ondas 1D para cordas tensas e para ondas electromagnéticas.

Significado das constantes na equação de ondas, com a dimensão de velocidade; revisão de conceitos de análise dimensional.

Integração da luz como onda EM com base na semelhança numérica entre os valores experimentais da velocidade da luz, por um lado, e das constantes EM do vazio, permeabilidade e permitividade, por outro.

Breve apresentação da equação de ondas para cabos coaxiais e para ondas em meios elásticos (sólidos e gases).

PRÓXIMA AULA

Integração da equação de ondas 1D. Construção de soluções.

BIBLIOGRAFIA

T. Freegarde, Introduction to the Physics of Waves, CUP, 2013.

Power Point das aulas

Aula Teórica 03-11-2021 17:30 (Sala: 6.2.53) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 03-11-2021 22:19

19

Ondas (7/13)

MICROSCOPIA (conclusão)

Micoscópios confocais: arquitectura confocal. Principais características da microscopia multi-fotónica de fluorescência.

ONDAS

Exemplos de fenómenos ondulatórios. Principais características associáveis ao conceito de onda.

Onda numa corda vibrante e equação de ondas

PRÓXIMA AULA

Equação de ondas

BIBLIOGRAFIA

Tim Freegarde, Introduction to the Physics of Waves, Cambridge University Press, 2013.

Aula Teórica 02-11-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 02-11-2021 17:36

18

Instrumentos ópticos (7/14)

Análise da arquitectura, conceitos adicionais e principais equações relativos a:

- Lupa
- Lente fish-eye
- Sistemas de abertura única e de abertura múltipla
- Microscópio óptico
- Microscópio confocal

BIBLIOGRAFIA

Hecht, Power Points da aula

PRÓXIMA AULA

Ondas

AULA DE DÚVIDA PARA O TESTE:

12 de novembro de 2021, na aula teórica

Aula Teórica 29-10-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 29-10-2021 16:40

17

Aberrações (6/13)

As aberrações e a não validade da aproximação paraxial..

Grandes famílias de aberrações monocromáticas e não monocromáticas.

Descrição qualitativa e visual das principais características da aberração esférica, coma, astigmatismo, curvatura e distorsão.

Utilização operacional dos diafragmas (de campo e de abertura) para garantir que um sistema funciona em condições paraxiais.

Outras formas de compensar a curvatura, baseadas na tecnologia de sensores ou de mosaicos de sensores, que permite implementar mosaicos com a envolvente com o raio de curvatura certo ou mesmo sensores de superfície não plana.

Compensação da distorsão através do conhecimento da função analítica da deformação ou através de calibração sobre a posição das imagens de pontos de referência.

Aberração cromática e sua origem na variação do índice com o comprimento de onda.

PRÓXIMA AULA

Microscopias

BIBLIOGRAFIA

Hecht, Power Point deste tema (a usar apenas de forma visual e qualitativa).

Aula Teórica 26-10-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 26-10-2021 18:12

16

Conceitos de sistema em instrumentação óptica (6/14)

Identificação de stop de abertura, de campo e pupilas em diversos sistemas ópticos.

Esboço de feixes em sistemas ópticos com base na posição das aberturas e pupilas.

Análise das diversas conjugações entre planos conjugados que um sistema óptico realiza simultaneamente.

Alças telescópicas e lunetas.

Utilização de auxiliares de medida inseridos nos planos onde se formem imagens reais intermédias.

Sistemas de reorientação da imagem.

A ocular e sua função na colocação da pupila de saída no sitio desejado e com a dimensão adequada.

Interface de sistemas ópticos com o olho humano, acoplamento entre pupilas do 1º e do 2º sistema.

Vinhetagem: variação do stop de abertura com a posição do objecto no campo. Variação da área e da forma das pupilas.

Número-f de um sistema (f/#). Escala de f/#.

Profundidade de foco e de campo: conceitos

PRÓXIMA AULA

Microscópios

BIBLIOGRAFIA

Hecht, cap. 5, Stops

Ver slide #2 do power point relativo a "Conceitos de sistema"

Aula Teórica 22-10-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 23-10-2021 16:36

15

Olho e Visão. Pupilas (6/11)

Olho e visão

Astigmatismo: conceito; exemplos de lentes com astigmatismo, baseadas em cilindros e em toros. Astigmatismo ocular. Especialização dos raios luminosos em folhas planas de raios luminosos.

Problemas de acomodação: presbiopia. Compensação.

Sistemas

Stop de abertura. Pupila de entrada e de saída. Raio principal. Stop de abertura. Exemplos de construção das várias secções de um feixe luminoso.

Sop de campo. Conceito. Exemplos.

PRÓXIMA AULA

Stop de abertura. Vinhetagem. f-number. Profundidade de campo e de foco.

BIBLIOGRAFIA

Hecht. Power Point das aulas

Aula Teórica 20-10-2021 17:30 (Sala: 6.2.53) - 35 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 20-10-2021 18:42

14

Olho e visão (5/13)

Algumas notas adicionais sobre os sensores associados à visão das cores: sensibilidade espectral, rodopsina, mecanismos de excitação e de des-excitação (latência).

Modelo do olhos de LeGrand / Gullstrand): parâmetros ópticos dos vários dioptrios e componentes. Conceito de acomodação.

Problemas de visão: tipologia - binoculares / monoculares; Cores; visão proxima / visão afastada. Ametropias: miopia e hipermetropia, principais características. Ponto Remoto. Princípio de compensação das ametropias. Breve referência a LASIK para correcção das ametropias.

PRÓXIMA AULA

Astigmatismo. Presbiopia. Pupilas e conceitos de sistema.

BIBLIOGRAFIA

Elementos de estudo disponibilizados no Fénix (em Elementos de Estudo). Power point das aulas (Fénix)

Aula Teórica 19-10-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 30 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 19-10-2021 17:14

13

Teleobjectivas. Olho (5/14)

Óptica geométrica

Teleobjectivas e sistemas afocais. Exemplos.

Ampliação angular. Determinação da posição da imagem em sistemas afocais.

Exemplo de uma saída ZEMAX com a posição dos pontos cardinais e outra informação relevante de um sistema óptico composto. Exemplos de diagramas de spots.

Leitura rápida das equações de OG que constam do Glossário.

Olho e visão

Principais abordagens da física ao olho e visão.

Estrutura geral do olho e retina. Eixos óptico e visual. Fóvea e ponto cego. Movimentos sacádicos. Cones e bastonetes, principais características da visão fotópica e escotópica. Breve menção ao olho composto dos insectos.

PRÓXIMA AULA

Modelos de olho. Problemas de refração.

BIBLIOGRAFIA:

Hecht. Power Point das aulas.

Olho: Herbert Gross e páginas Wikipedia referidas na secção ELEMENTOS DE ESTUDO

Aula Teórica 15-10-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 18-10-2021 09:52

12

Pontos cardinais (5/11)

Pontos cardinais: focais, principais e nodais. Distâncias focal objecto e imagem. Os pontos principais como origem dos referenciais nos espaços objecto e imagem.

Potência óptica: definição geral como invariante óptico. A dioptria, definição.

Localização dos pontos cardinais de dioptros e espelhos esféricos. Pontos principais e nodais de uma lente simples.

Variação dos pontos e planos principais com a forma de uma lente simples.

Traçado de raios num sistema geral com base nos raios que passem pelos pontos cardinais.

Composição de dois sistemas: potência total com base nas potências dos dois sistemas; localização dos planos principais do sistema composto relativamente aos planos principais dos sistemas componentes. Conceito de sistema “delgado”.

Aplicação das fórmulas gerais a uma lentes simples espessa. Verificação do erro que se comete na localização da imagem caso o objecto seja referido ao vértice da 1ª superfície e não, como deveria ser, ao plano principal objecto da lente.

1ª referência ao Glossário de fórmulas de Óptica Geométrica.

PRÓXIMA AULA

Continuação. Teleobjectivas. Sistemas afocais. Ampliação angular.

BIBLIOGRAFIA

A mesma. Power point das aulas.

Aula Teórica 13-10-2021 17:30 (Sala: 6.2.53) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 13-10-2021 19:12

11

Óptica Geométrica (4/13)

Dúvidas de óptica geométrica: espelhos e lentes, objectos / imagens reais e virtuais.

Aula Teórica 12-10-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 3 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 12-10-2021 16:09

[Editar](#) [Apagar](#)

Lentes (4/14)

Lentes simples: convenção de sinais. Principais regimes em função das distâncias objecto. Visualização de um simulador Geogebra relativo a lentes simples. Revisão de situações que representam objectos / imagens reais / virtuais.

Ampliação longitudinal

Sistemas compostos: forma de calcular a posição e dimensão da imagem.

Pontos cardinais, introdução. Pontos Principais.

BIBLIOGRAFIA

Hecht, Optics. secção 5.2

PROXIMA AULA

Pontos cardinais

Aula Teórica 08-10-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 50 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 09-10-2021 16:50

10

Refracção (4/11)

Reflexão em espelhos esféricos: utilização de um dos simuladores Geogebra.

Refracção plana: lei da refracção, reflexão interna total; ângulo crítico; aplicações.

Lâmina de faces paralelas: efeitos sobre feixes colimados e não colimados.

Prismas: ângulo de deflexão; aplicação em espectroscopia, esquema geral de um espectrómetro.

Refracção esférica: dioptra esférica; Equação dos planos conjugados e ampliação transversa; potência óptica de um dioptra esférica e sua variação com a diferença entre índices de refração.

Lentes: lentes delgadas no ar: equação dos planos conjugados, ampliação transversa e potência óptica. Sinal da potência óptica para as diversas configurações de lentes simples. Distâncias focais objecto e imagem. Ponto focal objecto e ponto focal imagem.

BIBLIOGRAFIA

A mesma. Para os prismas, ver o livro de Hecht, Optics.

PRÓXIMA AULA

Convenção de sinais. Uso do Geogebra. Ampliação longitudinal. Composição de sistemas ópticos. Pontos Cardinais.

Aula Teórica 06-10-2021 17:30 (Sala: 6.2.53) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 06-10-2021 19:06

9

VOID (3/14)

Aula não dada, por coincidir com a sessão geral de acolhimento aos novos estudantes do 1º ano, em que o docente deveria participar, por força das suas funções como presidente do DF.

Aula Teórica 01-10-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 0 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 06-10-2021 19:05

8

Óptica Geométrica. Espelhos esféricos (3/11)

Reflexão em espelhos esféricos. Descrição geral do traçado de raios a partir de posições axiais e não axiais: recta que descreve o raio incidente, ponto de incidência, ângulo de incidência, cálculo da recta que descreve o raio reflectido, intersecção com o eixo de simetria do espelho.

Aproximação paraxial: aproximação de esferas por parabolóides. Invariância do ponto de intersecção com o eixo (objectos axiais) nos casos em que a aproximação paraxial seja aplicável.

Noção de imagem (pontual) do objecto pontual inicial. Equação dos planos conjugados. Ampliação transversa e sua expressão em termos das distâncias objecto e imagem. Noção de Potência óptica de um espelho e alusão à unidade "dioptria". Conceito de ponto focal imagem (F'), um dos pontos cardinais de um sistema óptico.

Convenção de sinais para o raio de curvatura das superfícies (espelhos) e para as distâncias objecto e imagem, e sua relação com a natureza real / virtual do objecto e imagem.

Tabela resumo da posição e características da imagem para várias posições do objecto, para espelhos côncavos e convexos. Referência a módulos do Geogebra muito relevantes para óptica geométrica.

BIBLIOGRAFIA

Hecht, secção 5.4.

Geogebra: <https://www.geogebra.org/m/JJkVRHK>

PRÓXIMA AULA (3ª feira, 4-10-2021)

Refracção plana. Reflexão interna total. Prismas. Refracção por dioptras esféricos

Aula Teórica 29-09-2021 17:30 (Sala: 6.2.53) - 40 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 29-09-2021 22:07

7

Reflexão em cónicas (3/13)

Reflexão em espelhos descritos por cónicas. Características distintivas dos espelhos parabolóides, elipsoidais e hiperbolóides. Definição de superfícies côncavas / convexas. Pares objecto / imagem e natureza real / virtual nos vários tipos de reflexão em cónicas. Breve referência à sensibilidade dos espelhos baseados em cónicas perante alteração das condições de definição (incidência angular dos raios luminosos e/ou posição de componentes em torno dos focos).

Exemplos: antenas satélite, radio-observatórios, sistema de aquecimento solar, espelhos em telescópios.

Telescópios. Configurações Newtoniana, Gregoriana, Cassegrain, Ritchey-Chrétien. Utilização da configuração de Cassegrain nos telescópios para raios-X (configurações de Wolter).

Espelhos esféricos: breve introdução.

PRÓXIMA AULA

Espelhos esféricos, aproximação paraxial, equação dos planos conjugados, ampliação transversa. Convenção de sinais. Localização da imagem.

BIBLIOGRAFIA

Saleh, capítulo 1

Hecht, Optics, secção 5.4

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

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

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

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

Aula Teórica 28-09-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 50 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 29-09-2021 22:06

6

Óptica geométrica - reflexão (2/14)

Princípio de Fermat e dedução das leis da reflexão e da refração.

Breves referências à forma como estas leis são deduzidas com base nas condições fronteira impostas às equações de Maxwell em torno de superfícies de descontinuidade.

REFLEXÃO

Reflexão em espelhos planos. Objecto e imagem real e/ou virtual.

Breves referências às formas de implementar a reflexão com base em: 1. Modelo de Drude para as propriedades ópticas dos metais, 2. interferência entre múltiplas ondas por estruturas multi-camada, 3. holografia, 4. espelhos de fase conjugada.

Reflexão difusa: conceito, modelo de facetas; componentes difusa, especular e quase-especular (*glossy*).

PRÓXIMA AULA: reflexão em espelhos descritos por cónicas. Telescópios. Reflexão esférica e aproximação paraxial.

BIBLIOGRAFIA: a mesma

Aula Teórica 24-09-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 60 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 24-09-2021 15:48

5

Óptica Geométrica - VOID (2/11)

A aula não se realizou por impossibilidade técnica em ligar o computador ao projector...

Aula Teórica 22-09-2021 17:30 (Sala: 6.2.53) - 70 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 22-09-2021 21:41

4

Óptica geométrica - princípios (2/13)

Raios luminosos e frentes de onda geométricas.

Objecto extenso como colecção de objectos pontuais. Feixes de raios luminosos e relevância da posição do respectivo vértice. Breve menção a imagens reais e virtuais.

Conceito de conjugação entre as superfícies objecto e imagem: planos objecto e imagem; superfície imagem plana ou não. Imagens ideais e imagens reais.

Feixes convergentes, divergentes e colimados.

Sistemas ópticos com potência positiva, negativa ou nula, consoante o tipo de feixe que geram.

Princípio de Fermat: sombra geométrica, lentes e fibras de gradiente de índice, miragens.

Princípio de Huygens: fenómeno de dupla refração na calcite. noção de envolvente de uma família de linhas (em 2D) ou de superfícies (em 3D). Explicação do princípio de Huygens.

BIBLIOGRAFIA; Saleh, cap. 1.

PRÓXIMA AULA: leis da reflexão e da refração com base no princípio de Fermat. Reflexão, implementações da reflexão, utilização do conceito de reflexão.

Aula Teórica 21-09-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 70 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 21-09-2021 16:29

3

Paradigmas da óptica e introdução à Óptica Geométrica (1/14)

Continuação da aula anterior: alguns elementos adicionais relativos a emissão estimulada, transições radiactivas e não radiactivas, menção a fonão, como quasi-partícula e fluorescência.

Breve menção a excitação multi-fotónica, à maior diferença entre as frequências de excitação e de fluorescência, e à sua aplicação em microscopia confocal.

Fenomenologia dos fenómenos luminosos e sua modelação através de diversos paradigmas: óptica geométrica, ondulatória, electromagnética, óptica quântica e teoria semi-clássica.

Principais características dos três paradigmas clássicos: geométrico, ondulatório e electromagnético.

Óptica Geométrica: introdução. Raios luminosos e frentes de onda geométricas (wavefronts) e sua dualidade.

PRÓXIMA AULA: óptica geométrica (continuação)

Aula Teórica 17-09-2021 14:30 (Sala: 8.2.30) - 80 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 17-09-2021 19:01

2

Espectro EM. Interação da radiação com a matéria (1/11)

Espectro EM (continuação). Infravermelho / infrared (IR): espectro de absorção da água, impacto na tecnologia das fibras ópticas; radiação de corpo negro do Sol e da Terra, região de sobreposição; domínio térmico. Materiais para o IR e sua janelas de transmissão.

Materiais para o visível e UV, exemplos. Conceito de índice de refração: de um escalar real a uma função real da frequência, e sua generalização a função complexa para viabilizar a modelação EM da velocidade de propagação e do coeficiente de absorção.

Formas de interação da radiação com a matéria: absorção, emissão espontânea e emissão estimulada; principais características.

O papel da emissão estimulada no funcionamento do LASER; breve referência à formas possíveis de bombeamento e ao conceito de amplificação.

Espectros de riscas e de bandas (no caso de sólidos); referência ao valor do gap de energia e sua função na determinação dos limiares de emissão ou de detecção. Distinção entre isoladores, condutores e supercondutores. Breve referência aos pontos quânticos, em que é possível controlar a posição dos níveis de energia discretos.

Luminescência e respectivas variantes.

PRÓXIMA AULA: fluorescência. Fenomenologia da óptica e paradigmas. Óptica Geométrica, conceitos e princípios básicos.

Aula Teórica 15-09-2021 17:30 (Sala: 6.2.53) - 80 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 15-09-2021 19:03

1

Introdução à disciplina (1/13)

Introdução à disciplina e sua relação com a sua antecessora, Ondas EM e Óptica.

Ondas e partículas em física. Características comuns a muitos fenómenos ondulatórios, independentemente do domínio. Mapas conceptuais gerais da acústica e da óptica. Identificação de parâmetros que fixam escalas, nos vários regimes: comprimentos de onda, frequência, energia (eV).

Objectivos. Programa. Documento "Objectivos de aprendizagem". Avaliação. Bibliografia. Glossário de equações.

Principais divisões do espectro EM. Breve referência às normas internacionais ISSO e ANSI, exemplos. Algumas considerações sobre o UV, visível e limitações induzidas pelas janelas atmosféricas.

PRÓXIMA AULA: Infravermelho. Espectros discretos. Tipos de materiais e respectivos espectros. Formas de emissão de luz.

Aula Teórica 14-09-2021 15:00 (Sala: 6.1.36) - 80 alunos assistiram à aula. - Docente: José Manuel de Nunes Vicente e Rebordão - Data da Última Modificação: 14-09-2021 16:57