



A Natureza da Luz

Instrumentação Para o Ensino

Orientador: Carlos Lenz César

Aluno: Thiago Pedro Mayer Alegre



Introdução

A luz é um fenômeno que intriga cientistas há muito tempo. Os próprios gregos já haviam indagado a respeito de sua natureza. A escola Pitagórica, principalmente com Platão (427-347AC), acreditava que todo objeto visível emitia uma corrente constante de partículas luminosas, que eram captadas por nossos olhos. A oposição disso veio com Aristóteles (384-322AC), que acreditava sair de nossos olhos uma onda vibratória que atingia os objetos e tornava-os visíveis.

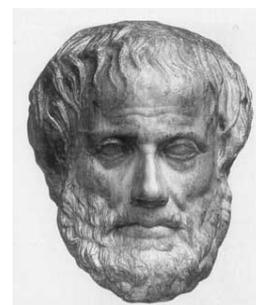
Já a partir desse ponto tinha-se duas teorias para a natureza da luz: Partículas ou Ondas, e uma discussão que perduraria por séculos. Os que acreditavam na teoria de partículas diziam que a luz comportava-se como gotas de água saindo de uma mangueira enquanto que a “frente” ondulatória imaginava que a luz se comportava igualmente a ondas formadas por uma pedra ao cair em um lago.

A primeira descoberta significativa foi feita por Heron de Alexandria (10AC-75), no século I, estabelecendo as leis básicas de **Reflexão da Luz** e **Propagação Retilínea da Luz**. Mas mesmo essa lei foi posta em xeque quando ao observar-se um pedaço de madeira num copo com água a luz parecia mudar de direção no novo meio líquido. Então em 1621 que Wilbord Snell (1580-1626) descobriu experimentalmente a **Lei da Refração**, dizendo que ao penetrar num novo meio os raios mudam de direção mas após a mudança de meio estes continuavam a se propagar em linha reta.

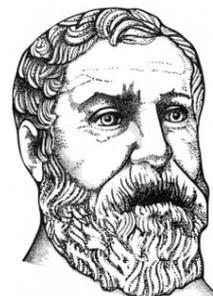
Em 1678, Christiaan Huygens (1629-1695) sugeriu que o quanto a luz era desviada da sua trajetória inicial dependia da velocidade que a luz atravessa no meio. Ele pensava que a luz era um movimento ondulatório, e se estivesse certo, o índice de



Platão, nascido em 427 A.C. em Atenas na Grécia, faleceu em 347 A.C. também em Atenas na Grécia.



Aristóteles, nascido e, 384 A.C. em Stagirus, Gécia, faleceu em 322 A.C. em Chalcis também na Grécia.



Heron, nascido por volta de 10 A.C., Alexandria, Egito e faleceu por volta de 75D.C.



Willebrord van Roijen Snell, nascido em 1580 em Leiden, Holanda, faleceu em 30 de outubro de 1626 também em Leiden, Holanda.

refração (que mede o desvio da luz) seria maior quanto menor fosse a velocidade com a qual a luz penetrasse no meio. Mas se fosse partícula, acorreria o posto, ou seja, num meio mais denso, a velocidade seria maior, porque as partículas seriam atraídas pelas moléculas. Essa era a idéia defendida por Isaac Newton (1643-1727).

Mesmo assim ambas teorias tinham seus percalços, a teoria ondulatória deveria ser capaz de explicar como a luz propagava-se no vácuo, como é o caso da luz proveniente do Sol que chega a Terra, para isso Huygens imaginou a existência de um meio elástico e imponderável a que deu o nome de éter, com o qual podia explicar este fato. Enquanto que a teoria de partículas tinha que lidar com o fato de que dois raios luminosos cruzam-se sem que um interfira no outro. Contudo durante praticamente todo o século XVIII a teoria corpuscular prevaleceu, principalmente em razão do maior prestígio de Newton no meio científico.

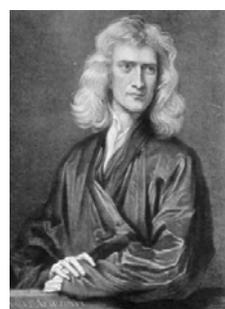
Entretanto outros experimentos reforçavam o caráter ondulatório da luz, como o fenômeno da **Difração** estudado pelo cientista italiano Francesco Grimaldi (nascido em 2 de abril de 1618, em Bologna, Itália, faleceu em 28 de dezembro de 1663, na mesma cidade), e os **Padrões de Interferência** produzidos pela luz ao atravessar uma fenda e também conhecido como *Franjas de Young*, (Thomas Young - 1773-1829). Outro fato que parecia por um fim a discussão da natureza da luz foi a verificação experimental, realizada por Leon Foucault (1819-1868), mostrando que a velocidade da luz era menor na água que no ar, como previa Huygens.

A partir daí, passou a predominar a teoria ondulatória, que foi sendo gradativamente aperfeiçoada, até culminar com a teoria ondulatória eletromagnética do físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) que propôs ser a luz constituída pelas denominadas ondas eletromagnéticas, e que



Christiaan Huygens, nascido em 14 de abril de 1629 em Hague, Holanda, faleceu em 8 de julho de 1695 também em Hague, Holanda.

Huygens imaginou a existência de um



Sir Isaac Newton, nascido em 4 de janeiro de 1643 em Woolsthorpe, Inglaterra, faleceu em 31 de março de 1727 em Londres, Inglaterra.



Thomas Young, nascido em 13 de junho de 1773 em Milverton, Inglaterra, faleceu em 1829 também na Inglaterra.



Jean Bernard Leon Foucault, nasceu em 18 de setembro de 1819 em Paris, França, faleceu em 11 de fevereiro de 1868 também em Paris, França.

a luz visível era apenas uma pequena parte (que pode ser enxergada por nós) de um espectro muito maior.

A teoria ondulatória seria universalmente aceita se, no século XX novas experiências não tivessem mostrado algumas de suas falhas.

As experiências do físico alemão Phillip Lenard (1862-1947), em 1900, demonstraram um fenômeno inexplicável: Ao expor uma placa de zinco à luz ultravioleta, esta liberava elétrons (negativos) este é o chamado **Efeito Fotoelétrico**. A teoria ondulatória só poderia explicar esse fenômeno se a energia que estes elétrons adquirissem fosse proporcional à intensidade de luz, no entanto na mesma época o físico alemão Max Planck (1858-1947) realizou um experimento em que mostrava que a energia adquirida pelos elétrons era proporcional à frequência da luz incidente. A frequência, por definição refere-se ao inverso do tempo de repetição, ou seja do tempo gasto pela onda para repetir sua condição inicial. No caso da luz a frequência está relacionada com a “cor” desta, por exemplo no espectro visível, a luz vermelha tem uma frequência menor que luz azul. Assim se incidirmos como uma luz azul (maior frequência) sobre um metal para produzirmos o efeito fotoelétrico, os elétrons ejetados terão maior energia do que quando incidirmos com uma luz vermelha (menor frequência).

Foi somente em 1905, com o famoso físico alemão Albert Einstein (1879-1955), que o fenômeno foi explicado. Ele propôs que a teoria ondulatória era incompleta, e que a luz poderia ter características de partículas também. Demonstrou, matematicamente que um elétron liberado deveria receber uma certa quantidade de energia, que segundo ele seria proveniente de uma partícula radiante (“partícula de luz”), chamando essa energia de fóton ou quantum de energia. Então, quanto maior a frequência da onda (luz) maior seria a energia que ele poderia liberar.



James Clerk Maxwell, nasceu em 13 de junho de 1831 em Edinburgo, Escócia, faleceu em 5 de novembro de 1879 em Cambridge, Inglaterra.



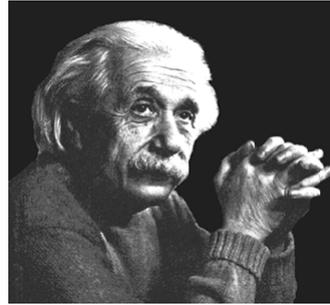
Phillip Lenard, nasceu em 7 de junho de 1862, na Eslováquia, faleceu em 20 de maio de 1947 em Messelhausen, Alemanha.



Max Karl Ernst Ludwig Planck, nasceu em 23 de abril de 1858 em Kiel, Schleswig-Holstein, Alemanha, faleceu em 4 de outubro em Göttingen, Alemanha.

Admite-se atualmente que a luz tem dupla natureza, corpuscular e ondulatória. Só assim se explicam todos os fenômenos ópticos, alguns com a teoria ondulatória, outros com teoria corpuscular.

O mais interessante disso tudo é notar que a história se encarregou de premiar, de forma inusitada, todos aqueles que se aventuraram a explicar a natureza da luz, mostrando que desde de Platão todos estavam errados e todos estavam certos.



Albert Einstein, nasceu em 14 de março de 1879 em Ulm, Württemberg, Alemanha, faleceu em 18 de abril de 1955 em Princeton, New Jersey, Estados Unidos..

Motivação

Os experimentos que descreveremos a seguir têm como objetivo mostrar as semelhanças entre o comportamento da luz com uma onda mecânica e com uma partícula. Mostrando assim que por vezes preferimos tratar a luz como uma partícula, como é o caso da óptica geométrica, e em outros casos tratando-a como uma onda, como no tratamento do eletromagnetismo.

Alguns dos experimentos aqui mostrados constam de um vídeo ^[12], produzido pela Enciclopédia Britânica.

Faremos uma breve discussão sobre os experimentos, bem como uma possível abordagem que pode ser tomada sobre estes no ensino.

Logo após mostraremos o projeto e os materiais utilizados além da montagem realizada.

Reflexão em superfície elíptica

Com uma vasilha em forma de uma elipse, contendo água, produziremos uma frente de onda circular em um dos focos da elipse e acompanharemos esta frente de onda convergir no outro foco (fig 1a).

Também com o auxílio de outra vasilha elíptica, iniciaremos o movimento de uma esfera em um dos focos mostrando que após uma reflexão essa passa pelo outro foco (fig 1b).

Finalmente mostraremos o mesmo efeito com um laser incidindo em uma superfície elíptica e refletora, partindo de um foco, e após uma reflexão incidir no outro foco (fig 1c). A figura a seguir ilustra esta montagem.

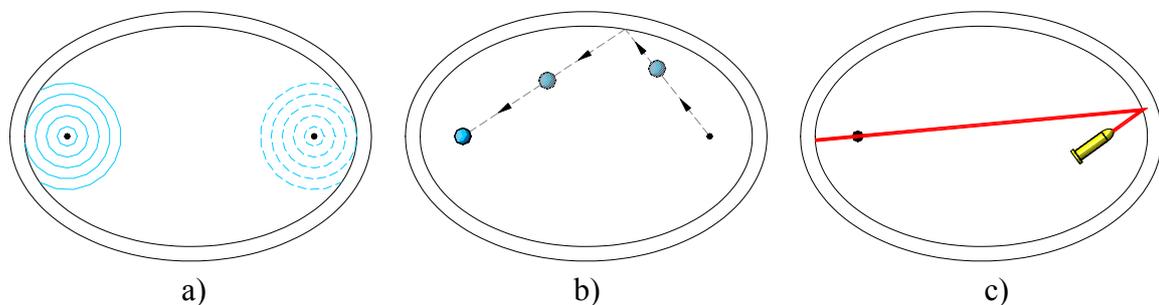


Figura 1: Ilustração do experimento para reflexão em superfície elíptica.

Com esse experimento podemos mostrar que tanto uma onda, quanto um corpúsculo, tem o mesmo comportamento que a luz quando tratamos de reflexões em superfícies. Assim pode-se mostrar aos alunos a validade da óptica geométrica, e uma intuição de como esta se conecta com o modelo ondulatório.

Além disso ao se explorar os aspectos geométricos da elipse, mostrando que a distância de qualquer ponto da elipse a um foco somada a distância deste mesmo ponto ao outro foco é constante e é o menor caminho entre os focos (passando pela superfície), mostra-se que a luz, sempre percorre o menor caminho entre dois pontos em uma reflexão.

Refração

Com o auxílio de um tanque de água com dupla profundidade mostraremos que uma frente de onda plana é refratada ao passar de uma parte rasa para uma parte profunda do tanque, fig 2a (ou seja ao incidir num meio com diferença de potencial).

Da mesma forma uma pequena esfera tem sua trajetória “refratada” ao mudar sua energia potencial passando por um plano inclinado, fig 2b.

Novamente mostramos que este experimento também é possível com luz, ou seja com auxílio de um prisma retangular, podemos ilustrar a refração da luz ao passar do ar para o prisma, fig 2c (meio menos denso para um meio mais denso).

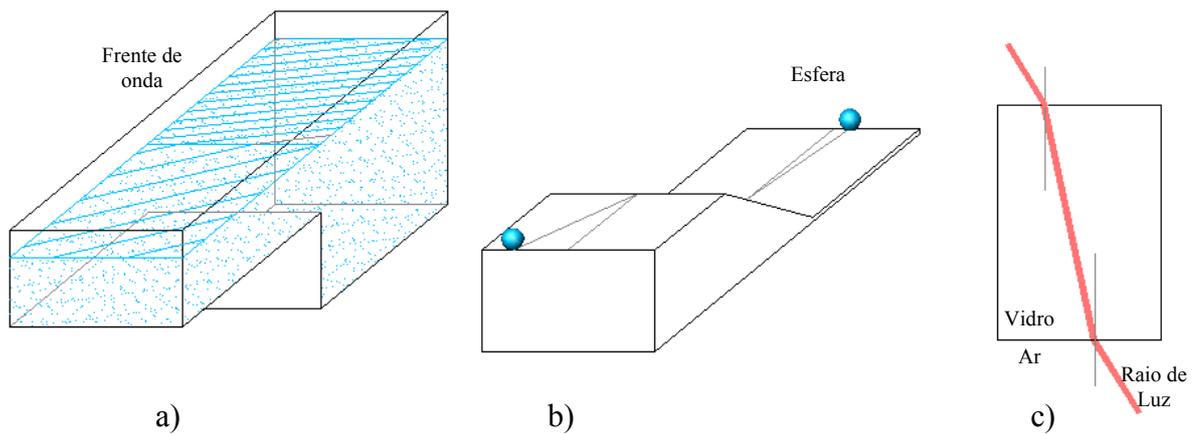


Figura 2: Ilustração do experimento de refração em um meio.

Novamente pode-se explorar a natureza dúbia da luz neste experimento, onde as trajetórias seguidas nos três casos coincidem. Entretanto deve-se chamar a atenção para a previsão feita pelo modelo corpuscular, onde a velocidade após a rampa seria maior, o que contradiz os experimentos que mostram que ao entrar em um meio mais denso a velocidade da luz é menor do que em um meio menos denso.

Montagem Experimental

A seguir descreveremos como montar, ou onde encontrar, os materiais utilizados neste experimento.

Reflexão

Para realizar o experimento de reflexão numa superfície elíptica tivemos que confeccionar cubas elípticas. Tentei fazer estas cubas com diversos materiais, como madeira, fórmica e isopor, o material adotado foi o isopor. A seguir descreverei a melhor solução que encontrei.

Na figura 3 mostramos o projeto da elipse feita com isopor, bem como suas medidas.

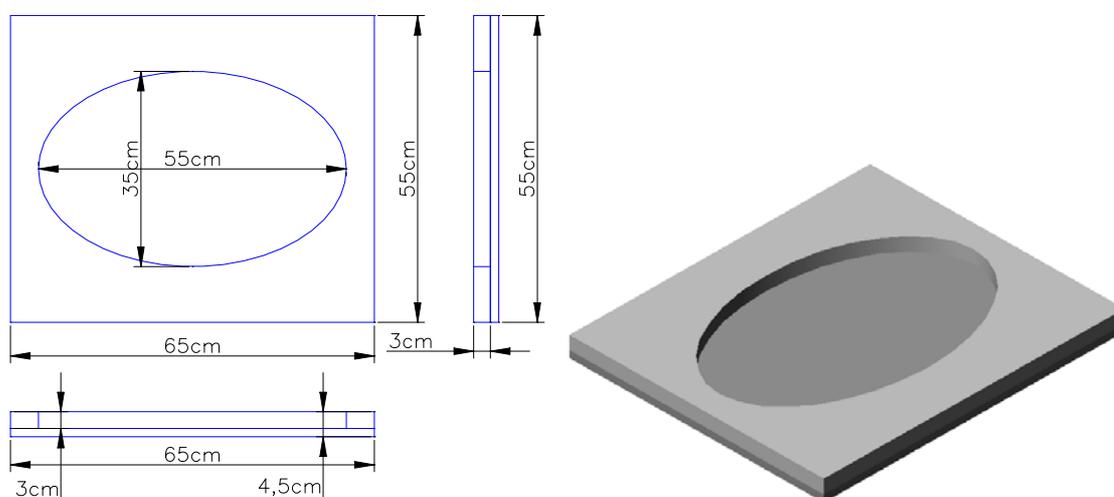


Figura 3: Projeto de construção da elipse, de isopor, feita para o experimento de reflexão.

Os materiais utilizados foram:

- Placa de isopor de 4,0cm
- Placa de isopor de 1,5cm
- Estilete
- Tesoura
- Barbante
- Caneta
- Cola branca
- Cartolina
- Papel laminado
- Massa corrida
- Tinta látex
- Lixa de madeira nº 220

É importante que a cuba elíptica tenha o menor número de imperfeições possíveis, por isso escolhemos o isopor pela sua facilidade de manuseio, isto também justifica o uso de massa corrida e tinta látex que corrigem essas imperfeições.

Com o auxílio de um barbante e duas tachinhas desenhe a elipse na cartolina e corte-a. Depois com uma caneta esferográfica desenhe a elipse na placa de isopor de 4,0cm, cortando-a de forma que a placa de isopor torne-se um molde vazado. Com a cola branca cole a placa de isopor de 1,5cm no fundo da placa já cortada, espere secar por cerca de quatro horas, assim já teremos a vasilha em forma elíptica.

Como o isopor é um material poroso, não conseguiremos armazenar água (no caso da onda mecânica), por isso devemos impermeabilizar-lo. Passe a massa corrida em toda a vasilha com o auxílio de uma espátula, inclusive nas paredes internas. Deixe secar por mais uma hora. Lixe até tirar todas as imperfeições das superfícies, é importante que a lixa seja bem fina para não criar sulcos. Para tornar mais efetiva a impermeabilização pinte com tinta látex.

Para a cuba refletora devemos cortar uma tira de papel laminado com largura de 4,0 cm e colá-lo na parte interna da cuba.

A seguir mostramos as três cubas já prontas.



Figura 4: Fotos mostrando as montagens experimentais. Da esquerda para a direita, reflexão de corpúsculo, reflexão de frente de onda mecânica e reflexão da luz.

Refração

Para o experimento de refração fizemos três montagens experimentais, correspondentes aos três experimentos: refração de partícula, refração de onda mecânica e refração da luz.

A seguir mostramos os projetos das duas primeiras montagens, bem como os materiais utilizados e a descrição da montagem.

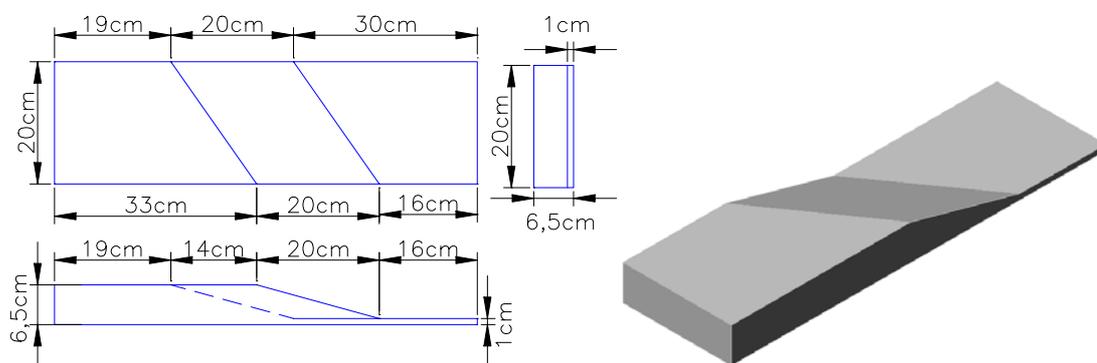


Figura 5: Projeto de construção da rampa para o experimento de refração de partícula

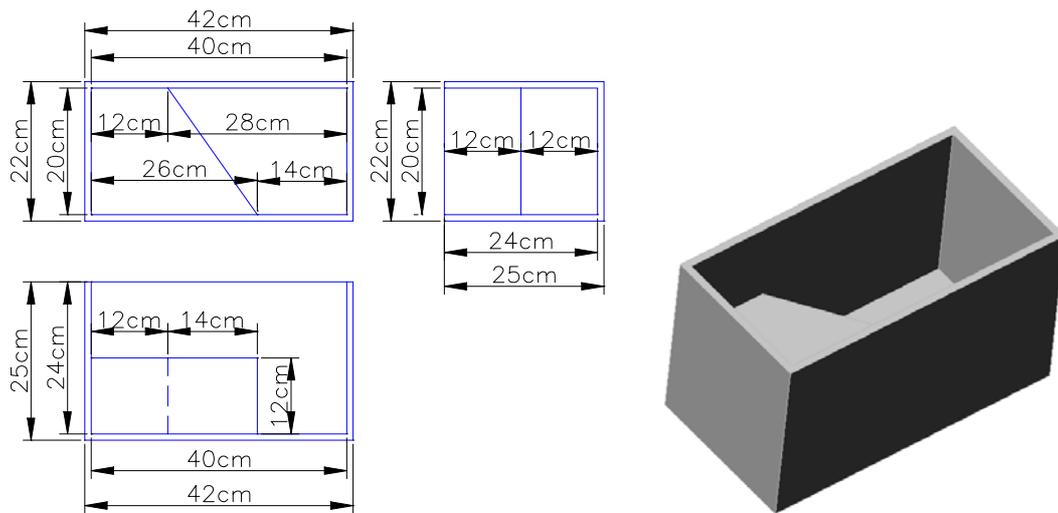


Figura 6: Projeto de construção de caixa para refração de onda mecânica

Nos experimentos de “refração” de um corpúsculo e de refração de uma frente de onda utilizamos os seguintes materiais:

- Madeira de 1,0cm de espessura
- Cola branca
- Tachinhas
- Lixa de madeira nº 220
- Tinta óleo

Nos dois casos confeccionamos as peças necessárias, conforme o projeto, colamos e pregamos de forma a montar as duas estruturas.

Depois lixamos as duas peças de forma a deixá-las sem nenhuma imperfeição, pois, novamente, estas podem mudar o resultado do experimento, principalmente no caso da rampa. Para melhor garantir que essas imperfeições não iriam interferir usamos tinta óleo para pintar a rampa.

No caso da refração da luz achamos que a melhor solução seria adquirir um pequeno aquário, o qual enchemos com água e um pouco de corante para facilitar a visualização do raio de luz. Mostramos a seguir as medidas desse aquário.

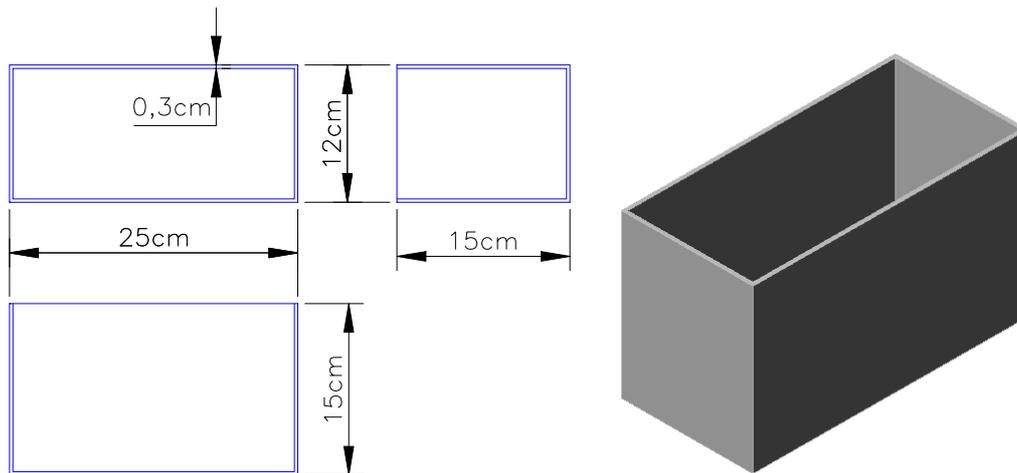


Figura 7: Medidas do aquário usado para o experimento de refração da luz.

Mostramos a seguir as três peças utilizadas na sua forma final.



Figura 8: Fotos mostrando as montagens experimentais. Da esquerda para a direita, rampa para “refração” de corpúsculo, caixa para refração de frente de onda mecânica e aquário para refração da luz.

Considerações finais

O experimento de reflexão em superfície elíptica não apresentou grandes problemas, desde que tomadas as precauções descritas anteriormente. Gostaria apenas de ressaltar que no caso da reflexão com partícula, no caso uma esfera, esta deve ser o mais uniforme possível e de fácil mobilidade.

Quanto ao experimento de refração obtivemos êxito em apenas duas das montagens, com refração da luz e com refração de corpúsculo. No caso da refração de onda mecânica, não conseguimos realizar o experimento. Creio que isso se deva as dimensões adotadas, pois com estas medidas haviam muitas reflexões nas paredes, o que tornou inviável este experimento. Infelizmente tentei aumentar as dimensões para tentar realizar o experimento mas não houve sucesso.

Comentário dos professores

Comentários feitos pelo professor Lunazzi

“Falta completamente bibliografia, e tem de haver inclusive textos já descrevendo essas mesmas experiências. Além disso, nos laser tipo Rubi e Neodímio, usam-se cavidades elipsoidais, sendo que no DEQ pode haver uma dessas cavidades que foi usada pelo ex-professor Antônio Balbin Villaverde, hoje na Univap.”

Referencia Bibliográfica

- [1] <http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/fisicaInteractiva/OptGeometrica/>
- [2] <http://elogica.br.inter.net/parga/fisica/historia.php>
- [3] <http://www.ecientificocultural.com/ECC2/artigos/polar00.htm>
- [4] <http://www.mnemocine.com.br/fotografia/luzfoto.htm>
- [5] <http://www2.dm.ufscar.br/hp/hp855/hp855001/hp855001.html>
- [6] <http://educar.sc.usp.br/optica/luz.htm>
- [7] http://www.bbsw1-lu.de/bereich_meisel/Physik/projekt_phy/gr_fassott/lenard.htm
- [8] <http://www-gap.dcs.st-and.ac.uk/~history/index.html>
- [9] http://wise.fau.edu/~jordanrg/bios/Young/Young_bio.htm
- [10] http://fr.wikipedia.org/wiki/L%E9on_Foucault
- [11] <http://www.fisica.ufc.br/donafifi.htm>
- [12] Enciclopédia Britânica Educational Collection, “A Natureza da Luz”, segunda edição

Anexo A

Referências

Óptica Geométrica

[Introducción](#)

[Cuestionario previo](#)

[Historia de la Óptica](#)

Principios físicos

[La luz viaja en línea recta](#)

[¿Seguro?](#)

[Leyes de la reflexión](#)

[Leyes de la refracción](#)

[Principio Fermat](#)

Espejos

Espejos planos

[¿Qué son?](#)

[Reflexión especular](#)

[Reflexión difusa](#)

[¿Qué imágenes dan?](#)

[Campo visual](#)

[Formación de imágenes](#)

Curiosidades

[Deslumbramiento](#)

[Criptografía](#)

[imagen falseada](#)

[Tamaño del espejo](#)

[Espejos en el Arte](#)

[Espejos en la Mitología](#)

[Camuflaje óptico](#)

Aplicaciones

[Periscopio](#)

[Movimiento de espejos](#)

[Sextante](#)

Espejos curvos

Cóncavos

[Formación de imágenes](#)

Convexos

[Formación de imágenes](#)

[Fórmulas de los espejos](#)

[Prácticas caseras](#)

[Actividades \(applet\)](#)

[Applet](#)

[Problemas](#)

Lentes

Lentes delgadas

[Tipos](#)

[Reglas de formación de](#)

[imágenes](#)

Introducción

Si hacemos un razonamiento simple sobre la naturaleza de la luz, fácilmente deducimos que la luz es algo que sale del Sol, inunda nuestro medio y, con la ayuda de nuestros ojos, nos permite ver.

Estudiar este "algo" intangible fue un reto para los que se acercaban al conocimiento de la naturaleza. ¿Cómo hacerlo?... ¿Analizando el ojo? ¿Tratando de separar la luz en partes y manipulándola? ¿Haciéndola chocar con los objetos? ¿Mirando qué le pasa cuando atraviesa algunos cuerpos que no la hacen desaparecer?.

Este fue el camino que dió lugar al nacimiento de una rama de la óptica, la **Óptica Geométrica**, en la que todas las deducciones se hacen basándose en razonamientos geométricos y no es necesario suponer nada sobre la naturaleza de la luz.

Está claro que la luz viene del Sol y también de una llama, pero ¿qué le ocurre a la materia ardiente para que emita luz?



Hoy sabemos que la luz se origina en los átomos debido a la caída de los electrones a zonas más cercanas al núcleo. A este tránsito le acompaña una emisión de radiación. La luz visible es una parte de esta radiación.

El estudio de la luz empezó aislando una parte de ella en haces más o menos finos y de esta manera se llegó al concepto de rayo.

Desmenuzar la luz en partes, estudiar su marcha y el proceso de formación de imágenes, fue un gran logro y en el participaron grandes científicos como Newton (en la cabecera de esta página tienes dibujos de él),

[Tipos de imágenes](#)

[Fórmulas](#)

[Potencia](#)

[Actividades \(applet\)](#)

[Laboratorio en casa](#)

[Laboratorio](#)

[Problemas](#)

Dioptrio

[¿Qué es?](#)

[Fórmulas](#)

[Aumentos](#)

[Distancias focales:](#)

[relaciones](#)

[Constructor de lentes](#)

[Dioptrio Plano](#)

[Applet](#)

[Problemas](#)

El ojo humano

[Anatomía y defectos](#)

[Poder de resolución](#)

[Cómo vemos](#)

[Ilusiones Ópticas](#)

Instrumentos Ópticos

[Lupa](#)

[Lente Fresnel](#)

[Telescopio](#)

[Microscopio](#)

[Máquina fotográfica](#)

[Aberraciones](#)

[Fronteras de la Óptica](#)

[Test final](#)

[Autor](#)

Descartes, Young....

Los científicos empezaron por observar la acción de los espejos sobre la luz y estudiando cómo y dónde se formaban las imágenes dadas por ellos.

Estudiaron también lentes y dedujeron las leyes que rigen la formación de sus imágenes.

Todo esto es lo que estudia la **Óptica Geométrica**.

Al aumentar el conocimiento de la naturaleza de la materia se descubrieron partes conceptuales más profundas de la naturaleza de la luz y surgieron otras partes de la óptica como la **Óptica Física** que trata de la naturaleza de la luz y de sus características ondulatorias y la **Óptica Cuántica** que estudia la acción de las partículas que lleva la luz (fotones) con la materia y todas las implicaciones cuánticas.

Cuando mires un rayo de luz debes pensar que tiene mucho que ver con la electricidad y el magnetismo: es una radiación electromagnética.

[Otros temas de física](#)



Segunda, 17 de Novembro de 2003



Aprenda Física

- :: O que é Física?
- :: Bacharel em Física
- :: Física Médica
- :: História da Física
- :: Física no Brasil
- :: Grandes Físicos

História da Física

Quem, com certeza foi pioneiro na busca do entendimento do mistério do calor foi o homem das cavernas, ao usar o fogo para se aquecer e cozinhar. Os filósofos gregos dos séculos V e VI A.C., Empédocles, Aristóteles e outros, acreditavam que o fogo, ao lado da água, da terra e do ar, era um dos elementos formadores da natureza. Essa idéia sobreviveu por quase dois mil anos, incluindo-se nesse período os alquimistas, que admitiam ter o fogo um poder extraordinário para leva-los ao encontro da pedra filosofal e do elixir da vida. Apenas no ano de 1661, o químico irlandês Robert Boyle (1627 - 1691), contemporâneo de Newton, em sua obra "O químico cético", emitiu com precisão o conceito de elemento químico, combatendo assim, as idéias dos alquimistas. Entretanto, Boyle ainda incluía o fogo como um desses elementos. Alguns anos depois, o médico do rei da Prússia, Georg Stahl, criou a idéia do flogístico. Segundo ele, o flogístico era o princípio do fogo. Um corpo ao ser queimado perdia o flogístico e virava cinza; ao se aquecer um corpo, este recebia flogístico; ao se resfriar, o corpo perdia flogístico. Joseph Priestley (1733-1809), químico inglês, era liberal em política e religião, mas conservador em ciência, defendendo a teoria do flogístico. Entretanto, ao descobrir o oxigênio (que chamou de ar deflogisticado), permitiu ao notável químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743 - 1794) derrubar definitivamente, em 1777, a teoria do flogístico, explicando a combustão como uma simples reação com o oxigênio. Lavoisier introduziu o termo calórico para descrever o elemento imponderável responsável pelo aquecimento dos corpos, por algumas reações químicas etc. Em colaboração com Pierre Simon Laplace (1749-1827), fez importantes estudos sobre o calor liberado na combustão. Sobre sua trágica morte na guilhotina, seu contemporâneo Joseph Louis Lagrange (1736-1813) comentou: "talvez um século não baste para produzir uma cabeça como essa, que se levou apenas um segundo para cortar".

O médico escocês Joseph Black (1728-1799), como Lavoisier, entendia o fluido calórico como uma substância que podia se combinar quimicamente com a matéria. Segundo ele, quando entre o corpo e o calórico havia uma simples mistura, a temperatura aumentava, sendo perceptível a presença de calor: era o calor sensível. Quando o calórico se combinava quimicamente com a matéria, ele desaparecia, não produzindo variação de temperatura: era o calor latente. Um exemplo dessa "reação química" com o calor aconteceria nas mudanças de estado: gelo + calórico = água. Apesar de suas idéias errôneas, Black teve o mérito de entender o calor como uma quantidade, definindo a unidade até hoje usada para medi-lo: a caloria. Introduziu ainda os importantes conceitos de capacidade térmica e calor específico. A idéia atual de que calor é energia nasceu com o americano radicado na Alemanha Benjamin Thompson (1753-1814), o conde Rumford, que, em 1799, ao pesquisar a perfuração de canhões numa fábrica de armas na Baviera, percebeu que o aumento de temperatura que ocorria no material perfurado só poderia provir da energia mecânica das brocas. A equivalência entre calor e energia mecânica foi determinada por Julius Robert Mayer (1814-1878) em 1842 e, com mais precisão, por James Prescott Joule (1818-1889) em 1843. O relacionamento definitivo da energia térmica com a energia cinética das moléculas foi estabelecido em 1857 pelo físico alemão Rudolph Clausius (1822-1888).

Em paralelo, temos a propagação retilínea da luz e sua reflexão já eram conhecidas pelos antigos gregos. A lei básica da reflexão luminosa, que estabelece a igualdade dos ângulos de incidência e de reflexão de um raio de luz, foi descoberta experimentalmente por Heron de Alexandria, no século I. A refração da luz foi estudada e bem descrita pelo matemático árabe Abu Alo Al Hassan Alhazen (987-1038) em seu livro Óptica, mas foi apenas no século XVII que o matemático holandês Willebrord Snell (1580-1626) descobriu a lei que relaciona os ângulos de incidência e de refração. Coube ao físico e filósofo francês René Descartes (1596-1650), em sua obra Dioptrica, de 1637, divulgar a lei, que passou a ser conhecida como o nome dos dois cientistas: Lei de Snell-Descartes. Quanto à natureza da luz, quem formulou a primeira teoria científica a respeito foi Isaac Newton (1642-1727). Em sua teoria corpuscular, Newton propunha que as fontes luminosas emitiam minúsculas partículas extremamente velozes em todas as direções, capazes de atravessar os meios transparentes, sofrendo refração e se refletindo em superfícies polidas. Pela teoria de Newton, a luz deveria ter velocidade de propagação maior na água que no ar.

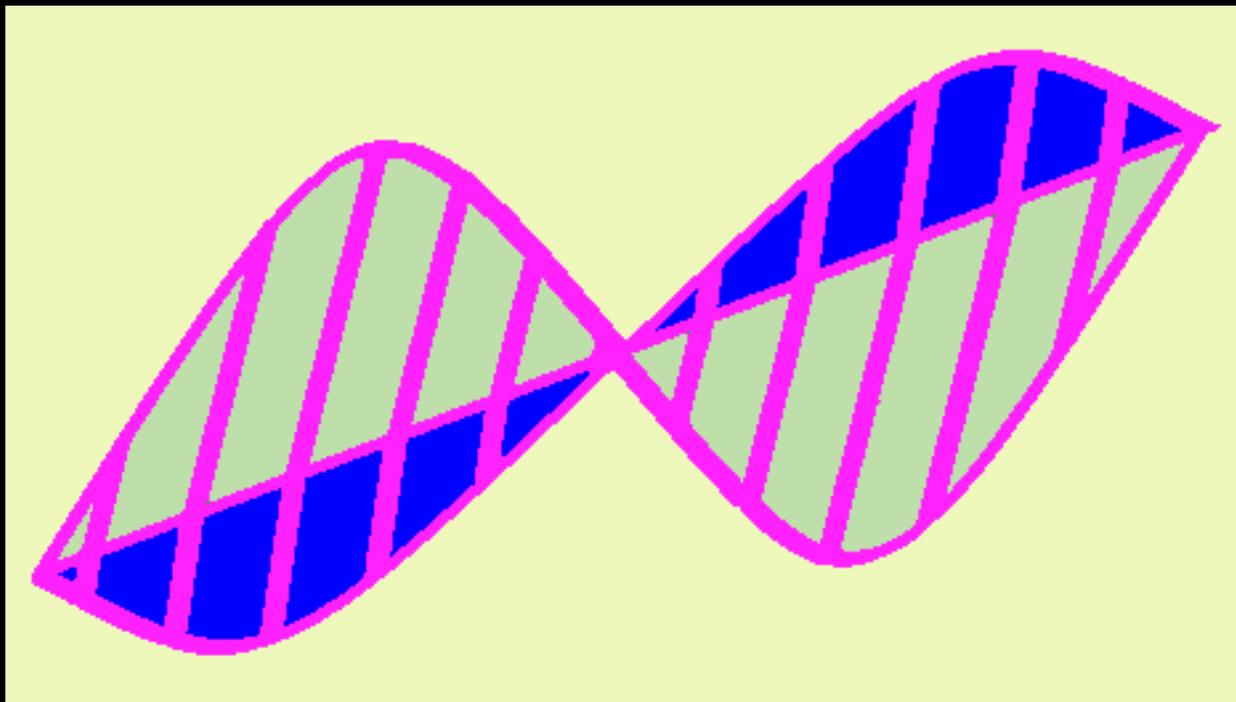
Mais ou menos na mesma época, o físico holandês Christian Huygens (1629-1695) propôs a teoria ondulatória para explicar a natureza da luz. Segundo a teoria, a luz se propaga por meio de ondas, do mesmo modo que o som. Para contornar o problema da propagação da luz no vácuo, que não acontece com o som, Huygens imaginou a existência de um meio elástico e imponderável a que deu o nome de éter. Por essa teoria, a velocidade da luz na água deveria ser menor que no ar, ao contrário do estabelecido pela teoria de Newton. Durante praticamente todo o século XVIII a teoria corpuscular prevaleceu, principalmente em razão do maior prestígio de Newton no meio científico. Entretanto, em Leon Foucault (1819-1868) verificou experimentalmente que, na água, a luz tem velocidade menor que no ar. A partir daí, passou a predominar a teoria ondulatória, que foi sendo gradativamente aperfeiçoada, até culminar com a teoria ondulatória eletromagnética do físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) que propõe ser a luz constituída pelas denominadas ondas eletromagnéticas. Com essa teoria ficou resolvido inclusive o problema da propagação da luz no vácuo, pois essas ondas podem fazê-lo por serem geradas por variações de campo elétrico e de campo magnético. Admite-se atualmente que a luz tem dupla natureza, corpuscular e ondulatória. Só assim é possível explicar todos os fenômenos ópticos, uns com a teoria ondulatória, outros com a teoria corpuscular.

Espaço Científico Cultural

A NATUREZA DA LUZ E PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO

© Janeiro de 2003 ©

Alberto Mesquita Filho



Faça o download deste artigo no formato doc

Índice do Artigo

A Natureza da Luz e o Princípio da Superposição



I - A luz corpuscular.

- 1 - Os corpúsculos de luz.
 - 2 - A Interação luz-matéria.
 - 3 - Os lados da luz.
- 
- 
- 
- 

II - A luz ondulatória.

- 1 - A luz ondulatória de Huyghens.
- 2 - A refração de Descartes.
- 3 - Contradições à luz mecânico-ondulatória.

III - Ondas eletromagnéticas.

- 1 - A luz ondulatória de Maxwell.
 - 2 - Teorias de emissão.
 - 3 - A representação das ondas eletromagnéticas.
 - 4 - Contraste onda corpúsculo.
- 
- 

IV - Emissores e receptores de luz

- 1 - Os elétrons oscilantes — Planck
- 2 - O modelo de Bohr
- 3 - Similaridades entre os modelos
- 4 - Modificando o modelo de Bohr
- 5 - O efeito fotoelétrico

V - Interação Luz-Matéria

- 1 - Sobre o possível agente da interação
- 2 - Interação mediada por campos
- 3- Interação instantânea a distância
- 4 - Interação direta ou imediata
 - 4.1 - Propagação da luz
 - 4.2. - Reflexão e refração da luz
 - 4.3. - Espalhamento da luz

VI - Difração da luz

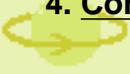
1. A dualidade corpúsculo-onda
 2. A difração de Taylor
 3. O Teorema da Indeterminação
- 
- 

VII - A polarização da luz

- 1. A polarização como tema crucial
- 2. A polarização absoluta
- 3. A polarização medial
- 4. Análise da luz polarizada
- 5. O efeito Malus
- 6. A explicação corpuscular do efeito Malus



VIII - O princípio da superposição de estados

1. Fótons e corpúsculos de luz
 2. Suposições diracianas
 3. Estados de polarização
 4. Conclusão final
- 
- 

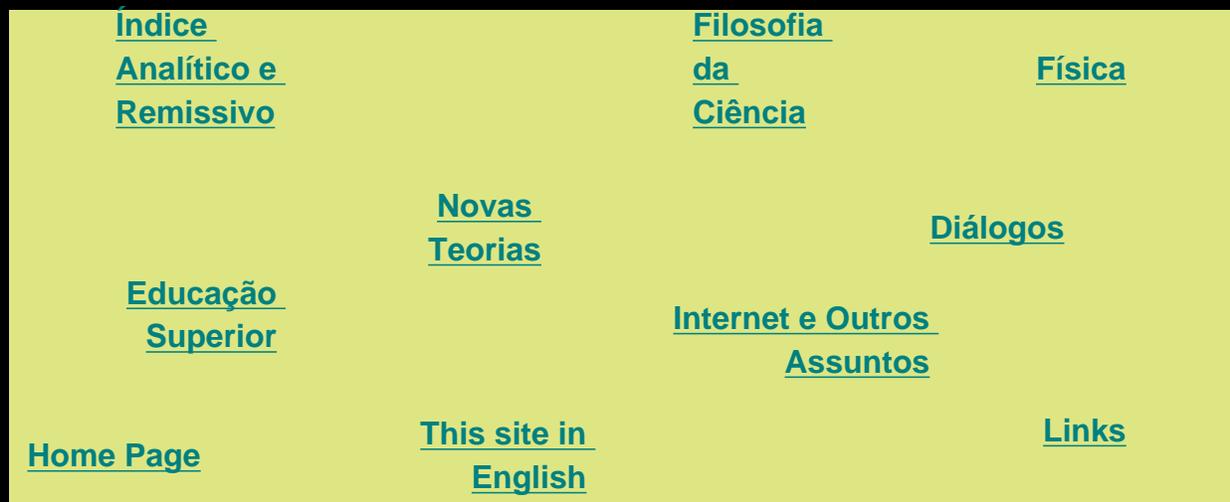
Bibliografia

Comentários, críticas e sugestões

Advertência:

Muitos aspectos são abordados ou na superficialidade ou de uma maneira diferente da tradicional, nem sempre em harmonia com o que se postula nos livros didáticos e/ou nos meios acadêmicos. Não há pretensão alguma em esgotar o assunto "natureza da luz", pois ele é por demais extenso. A idéia inicial deste trabalho era tão somente a de fornecer dados para que pudéssemos, naquele clima amistoso que impera na lista de discussão Noosfera, do grupo Yahoo, evoluir no sentido de caracterizar alguns aspectos relativos à polarização da luz. Atingido esse ponto estaríamos em condições de verificar como a polarização, assim interpretada, poderia se prestar a fornecer subsídios para que pudéssemos vir a entender ou abordar criticamente o princípio da superposição de estados da teoria quântica. Este último, segundo Dirac, seria, dentre o conjunto das leis da natureza, o princípio "*mais fundamental e o mais vigoroso*" para a construção da mecânica quântica. Não obstante, à medida em que ia escrevendo, novas idéias foram surgindo, a acoplarem-se a outras de minhas teorias. Segui a trilha que ia se me abrindo e espero com isso ter novamente "colaborado para que possamos um dia retornar aos tempos em que a física era uma ciência inteligível" (com essas palavras conclui, em 1997, o artigo A equação do elétron e o eletromagnetismo).

Conheça o Espaço Científico Cultural



A Luz

por **Filipe Salles** *

Luz é um fenômeno que intriga cientistas há muito tempo. Os próprios gregos já haviam indagado a respeito de sua natureza, chegando a duas conclusões, por vezes conflitantes, que alternavam a preferência dos estudiosos. A escola Pitagórica, principalmente com Platão, acreditava que todo objeto visível emitia uma torrente constante de partículas luminosas, que eram captadas por nossos olhos. A oposição disso veio com Aristóteles, que acreditava sair dos nossos olhos uma onda vibratória que atingia os objetos e tornava-os visíveis.

Tinha-se então duas teorias: Partículas e ondas. As partículas propagavam-se como gotas saindo de uma mangueira, e as ondas, como uma pedra atirada na água. Tratava-se apenas de especulações sobre a natureza e, embora a discussão sobre a teoria de partículas e ondas tenha perdurado até o início do séc. XX, hoje sabe-se que tanto Platão quanto Aristóteles estavam certos, ainda que parcialmente.

A primeira descoberta importante surgiu ainda na Grécia com Heron, de Alexandria, que, fazendo experiências com espelhos, descobriu que a luz caminha em linha reta, o que levou à seguinte lei: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Daí até o séc. XVII, o progresso foi lento. O que mais intrigava os cientistas da época era saber se, afinal, a luz era uma partícula ou uma onda. E não conseguiam explicar como, sendo que a luz caminha em linha reta, um pedaço de madeira num copo com água parecia mudar de direção no novo meio líquido, ou seja, não parece reto ao observador.

Foi somente em 1621 que o matemático Wilbord Snell explicou o fenômeno, dizendo que ao penetrar num novo meio, os raios mudam de direção. Mas isso não contradiz a lei formulada por Heron? Snell diz que não, porque a luz continua em linha reta depois de atravessar o novo meio.

Snell mediu então o desvio em vários meios como água, ar, vidro, e constatou que o desvio variava de acordo com o meio.

A esse fenômeno ele chamou REFRAÇÃO.

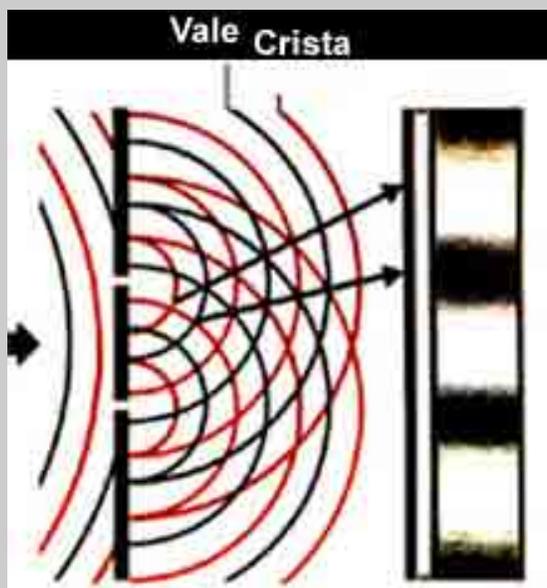
O ângulo de refração varia também com o ângulo de incidência. Se o raio incidir num ângulo de 90º, não há desvio nenhum, uma parte é refletida e outra é transmitida na mesma direção.

Em 1678, Christian Huygens sugeriu que o índice de refração é determinado pela velocidade que a luz atravessa o meio. Ele pensava que a luz era um movimento ondulatório, e se estivesse certo, o índice de refração seria maior quanto menor fosse a velocidade com a qual a luz penetrasse no meio. Mas se fosse partícula, acorreria o posto, ou seja, num meio mais denso, a velocidade seria maior, porque as partículas seriam atraídas pelas moléculas. Mas não havia tecnologia disponível para medir a velocidade da luz com precisão, de maneira que permaneceu a dúvida quanto à natureza do fenômeno luminoso, embora Huygens estivesse certo quanto à refração ser decorrente da alteração de velocidade.

Isaac Newton também fez importantes contribuições neste campo, a maioria no campo da cor. A princípio, fazendo um feixe de luz passar por um prisma, percebeu que a luz se decompunha num espectro de cores, passando do alaranjado, amarelo, azul, até o violeta, e que podia recompor em luz branca este espectro à vontade. Assim, descobriu que a luz branca era formada por todas as cores do espectro. Mas, isolando as cores, nada podia fazer para alterar sua natureza. Essa sua teoria

incentivou-o a acreditar que tratavam-se de partículas e não de ondas, mas ele próprio não tinha certeza sobre isso.

A vitória da teoria ondulatória foi quase total com o cientista italiano Francesco Grimaldi, contemporâneo de Newton, que, ao estudar a formação de sombras, verificou que elas nunca apresentavam contornos nítidos, chamando este fenômeno de DIFRAÇÃO. Pouco tempo depois, Thomas Young, partindo dos mesmos pressupostos, fez a seguinte experiência: Fez um feixe de luz atravessar uma parede com dois buracos, e a sombra projetada numa segunda parede alternava sombras e luz. Concluiu que, por sua natureza ondulatória, a luz, quando cruzavam as cristas das ondas, mantinham a luz, mas quando cruzavam os vales, permaneciam em sombra. Essa alternância de luz e sombra é chamado Padrão de Interferência, e decorre do esforço e anulação de ondas que chegam em tempos diferentes.



Cabe então definir alguns conceitos: A distância entre uma crista à outra é chamado Comprimento de Onda, e o número de cristas, ou ondas, que passam por um determinado espaço num segundo, é chamado de Freqüência.

Assim, comprimento de onda x freqüência = velocidade. Em se tratando de luz, a velocidade num dado meio é constante. Assim, quanto maior for o número de ondas por segundo, menor será a distância que cada um terá que percorrer e portanto, seu comprimento será menor.

Essas diferenças são percebidas, por exemplo, na cor. Cada cor, tendo uma freqüência, tem um comprimento de onda, e é justamente isso que a diferencia.

Graças à experiência de Young é que conhecemos o fenômeno da polarização. Dois cristais, com características moleculares semelhantes, deixarão passar toda a luz, mas, ao girá-los, a luz irá diminuindo até o ponto em que nenhum raio conseguirá ultrapassar o segundo.

Até então, a teoria ondulatória reinava soberana, pois a teoria das partículas não conseguia explicar os fenômenos de interferência e difração.

A dúvida sobre a natureza da luz persistiu por causa de uma outra experiência, que já havia sido feita por Newton: Considerando que a passagem da luz através de um prisma, se a luz fosse um fenômeno ondulatório, as diferentes cores obtidas em sua decomposição deveriam chocar-se umas com as outras quando devidamente desviadas da trajetória original, assim como o padrão de interferência de Young. Mas tal fenômeno não era verificado sob nenhuma condição, pois os raios decompostos não sofriam qualquer tipo de alteração da trajetória entre eles próprios. E, embora as evidências sobre a teoria ondulatória reinassem soberanas, ainda persistiam dúvidas insolúveis que eram deixadas muitas

vezes de lado como argumento.

Somente no final do séc. XIX é que os cientistas voltaram a perguntar afinal, o que é a luz. O físico teórico inglês James Clerk Maxwell demonstrou que a luz fazia parte de um imenso espectro eletromagnético, e é percebida por nosso olho por ser sensível. Maxwell descobriu ainda que existe um elemento de ligação entre todo o espectro eletromagnético, e este era sua velocidade. No vácuo, todo o espectro viaja a aproximadamente 300.000 km/s, ou $3,00 \times 10^8$ m/s. Desde os comprimentos quilométricos de baixa frequência até os minúsculos comprimentos que só podem ser medidos em frações de milímetros, todos caminham à velocidade da luz.

A teoria ondulatória seria universalmente aceita se, no advento do novo século, novas experiências não tivessem destronado a ondulatória como natureza absoluta da luz.

As experiências do físico Phillip Lenard, em 1900, demonstraram um fenômeno inexplicável: Ao expor uma placa de zinco à luz ultravioleta, esta liberava elétrons (negativos) e a placa adquiria carga positiva. A quantidade de elétrons emitidos por segundo era proporcional à intensidade de luz emitida. Isso foi caracterizado como efeito fotoelétrico, e sua aplicação atual é, principalmente nos aparelhos e câmaras de TV. Se a teoria ondulatória valesse para explicar esse fenômeno, a energia liberada destes elétrons seria também proporcional à intensidade de luz, mas isso não foi verificado, e sim que a energia liberada era inversamente proporcional aos comprimentos de ondas do feixe. Um raio de luz de comprimento pequeno emitia grande quantidade de energia, e vice-versa.

Foi somente em 1905, com Albert Einstein, que o fenômeno foi explicado. Ele propôs que a teoria ondulatória era incompleta, e que a luz poderia ter características de partículas também.

Matematicamente, demonstrou que um elétron liberado podia absorver uma partícula radiante, e ela então daria energia a ele, chamando essa energia de fóton ou quantum de energia. Então, quanto menor o comprimento de onda, mais energia ela poderia liberar.

Em 1923, Arthur Compton demonstrou que os fótons tinham energia cinética, e, portanto, massa.

A luz, portanto é ondulatória e corpuscular, predominando por vezes uma, por vezes outra, mas sua constituição é de ambas características.

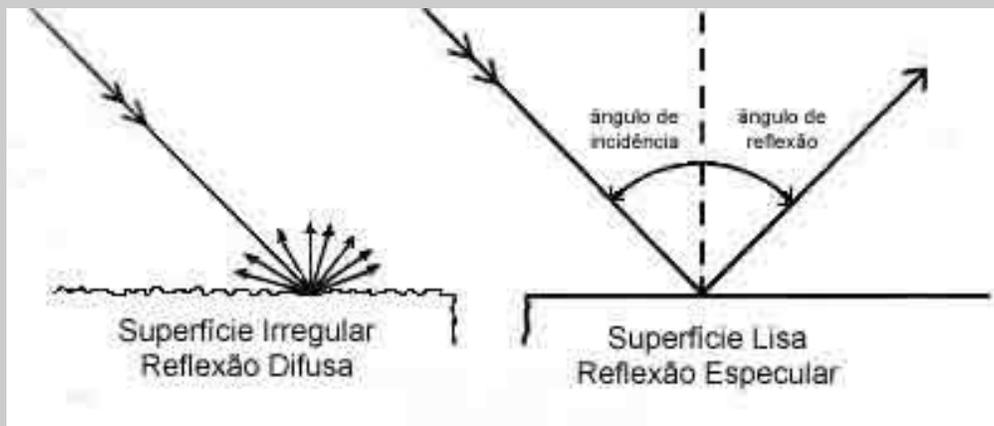
Hoje sabemos que a luz é um fenômeno elétrico, ligado à troca de energia entre elétrons. Assim é um determinado átomo possui um determinado número de camadas onde rodeiam os elétrons. Quando estes elétrons recebem um estímulo qualquer, sofrem alterações físicas, somente visíveis através das conseqüências destas alterações. A luz é uma destas conseqüências. Se uma determinada quantidade de energia incidir sobre o elétron, este poderá, dependendo da quantidade de energia, se desprender de sua camada original e passar para outra, mais interna ou mais externa. Quando isto acontece, o elétron libera a energia excedente desta passagem, energia esta chamada fóton. Fóton é, em última análise, a menor unidade daquilo que chamamos luz. Fóton é luz. Na prática, o que acontece é que quando passamos uma corrente elétrica por um filamento de metal, seus elétrons se aquecem, em decorrência do estímulo desta passagem. Como se trata de muita energia, os elétrons do filamento começam a trocar de camada e assim produzem fótons, milhões deles que são liberados dando assim a sensação da luz.

Daí concluímos que:

- 1) A luz visível é apenas uma ínfima parte do espectro eletromagnético.
- 2) A luz, tendo massa, pode alterar qualitativamente uma estrutura qualquer.
- 3) A luz segue os seguintes princípios: Ao ser emitida sobre um objeto qualquer, ocorrerá
 - a) Reflexão
 - b) Absorção
 - c) Transmissão

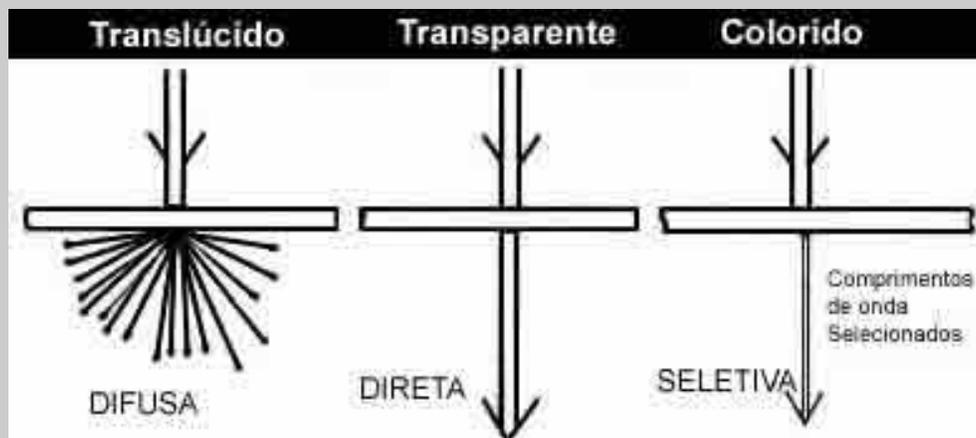
- d) Refração
- e) Dispersão

Ocorrerá reflexão, se o objeto for opaco, e poderá ser especular ou difusa. Se for especular, o ângulo de incidência será igual ao ângulo de reflexão. Se for difusa, os raios divergirão em várias direções.



Ocorrerá absorção em quase todos os casos, principalmente se o objeto for preto, e aí todos os comprimentos de onda serão absorvidos, e transformados em calor.

Ocorrerá transmissão num meio translúcido ou transparente. Se o meio tiver uma cor, todas as demais serão barradas por ele, só deixando passar a frequência correspondente à mesma cor do meio.



Os objetos, ao refletirem ou transmitirem a luz solar, não só o fazem em quantidade, mas também em qualidade. Significa que, de acordo com suas características físico-químicas, refletem ou transmitem determinados comprimentos de onda, adquirindo assim cores próprias.

Assim, um objeto que reflita ou transmita uniformemente todos os comprimentos de onda e examinado à luz solar aparecerá como branco (ou cinza, se absorver ou transmitir uniformemente uma parte da luz total incidente). Uma maçã é vermelha porque reflete apenas a porção de luz vermelha que sobre ela incide, absorvendo as demais. Um pedaço de veludo preto absorverá todos os comprimentos de onda da luz incidente sobre si. Um vidro transparente incolor transmite uniformemente todos os comprimentos de onda que sobre ele incidem, ao passo que um verde somente deixa passar os comprimentos de onda correspondentes ao verde e absorve os demais. Tais conceitos de absorção, reflexão e transmissão são importantes para o bom entendimento da ação da luz e formação das

cores. Em especial serão úteis para o estudo do emprego dos filtros, tanto na fotografia a cores como em B/P.

Ocorrerá refração se a luz incidir em ângulo sobre uma superfície transmissora. Como a superfície transmissora é um meio onde a luz altera sua velocidade, ocorre a refração sob a seguinte fórmula:

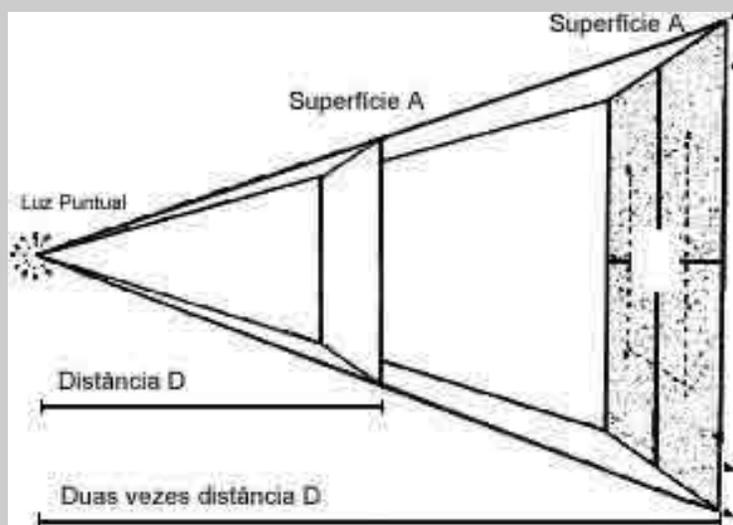
$\text{Sen } A1 / \text{Sen } A2 = \text{Constante}$, que é $v1/v2$, ou seja, a velocidade de cada meio. Considerando $n = \text{velocidade da luz no vácuo} / \text{velocidade da luz no meio}$, temos que n é o índice de refração, se aplicado à fórmula $n1 \text{Sen} A1 = n2 \text{Sen} A2$.

Portanto, quanto maior for o ângulo de incidência, maior será o ângulo de reflexão. Mas existe um limite para refração, que é o ângulo de 90º formado por seus senos. Ultrapassando esse limite, todo o feixe de luz será refletido.

Dispersão ocorre em todos os casos com exceção do raio laser, pois a luz saída de uma fonte tende sempre a se dispersar em todas as direções, o que explica o fenômeno das sombras não definidas.

4) Luz caminha em linha reta

5) Quanto maior for a distância de uma fonte de luz ao seu objeto, menor será a luz por este recebido, na razão da quarta parte cada vez que se duplica a distância. Ou seja, Uma intensidade de luz determinada por uma distância, é reduzida à quarta parte cada vez que se dobra a distância. Esta lei é conhecida como "**Lei do inverso dos quadrados da distância**".



* Filipe Salles é fotógrafo, cineasta e músico; é professor de fotografia na FAAP e mestrando em Comunicação e Semiótica na PUC/SP.

Bibliotheca Alexandrina

Roberto Ribeiro Paterlini

Foi inaugurada em 16/10/2002 a *Bibliotheca Alexandrina*, um projeto do governo egípcio e da UNESCO. É uma moderna instituição pública de pesquisa e informação, situada na cidade de Alexandria. A nova biblioteca foi inspirada na Biblioteca de Alexandria, a mais famosa da Idade Antiga.



[A Nova Biblioteca de Alexandria](#)

[Pequena história da cidade de Alexandria](#)

[A Antiga Biblioteca de Alexandria](#)

[Matemáticos ligados à Antiga Biblioteca de Alexandria](#)

[Endereços para mais informações](#)

[Referências](#)

[início desta página](#)

A Nova Biblioteca de Alexandria

A nova biblioteca de Alexandria, que recebe o nome sugestivo de *Bibliotheca Alexandrina*, foi inaugurada em 16 de outubro de 2002 pelo Presidente da República Árabe do Egito, com a presença de inúmeros



chefes de estado e dignatários de todo o mundo.

Criada sob a inspiração da antiga Biblioteca de Alexandria, a mais famosa da antiguidade, é uma instituição pública de informação e pesquisa, devendo servir a estudantes e pesquisadores, assim como ao público em geral.

A Bibliotheca Alexandrina pretende simbolizar a disseminação do conhecimento entre os diferentes povos e nações do mundo.

A UNESCO, organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura, se associou à Bibliotheca Alexandrina desde a sua concepção, em meados dos anos 80, ajudando assim a dotar a cidade de Alexandria e toda a região mediterrânea de um importante centro educacional, científico e cultural. Diversos países da cultura árabe e da região mediterrânea contribuíram com a construção e se responsabilizaram com os objetivos da nova Biblioteca.



A construção principal tem a forma de um cilindro com 160 metros de diâmetro e com o topo truncado. O telhado em ângulo tem o efeito de minimizar os danos dos ventos marítimos e permite o uso da luz natural. Poderá eventualmente conter até 8 milhões de volumes, com coleções especiais sobre as civilizações mediterrâneas assim como grandes coleções sobre ciência e tecnologia.



O complexo da Bibliotheca Alexandrina inclui ainda um Centro de Conferências, um Planetário, uma Escola Internacional de Estudos sobre Informações, Biblioteca para crianças, Biblioteca para cegos, Museu Científico, Museu de Caligrafia e Laboratório de restauração de manuscritos raros.

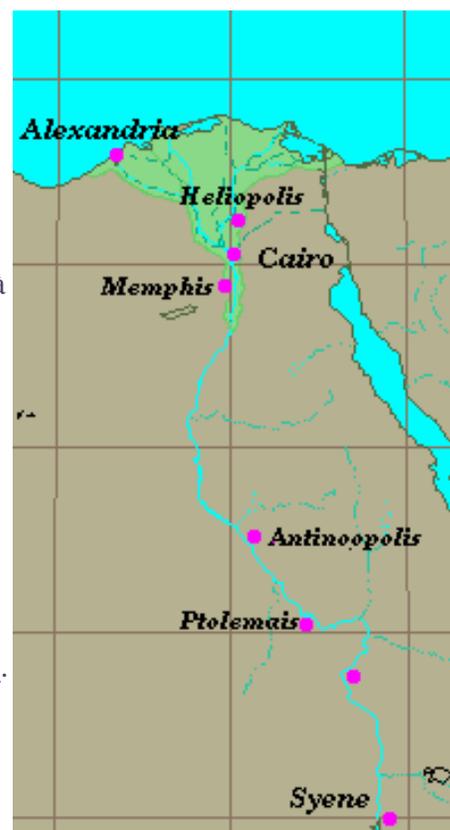
[início desta página](#)

Pequena história da cidade de Alexandria

Alexandre o Grande, Rei da Macedônia, conquistou o Egito em 332 a. C. Registram os livros de História que, passando o inverno de 332-331 a. C. na região do delta do Nilo, Alexandre ordenou que fosse ali implantada a nova capital, com a intenção de servir de base naval e de ser o centro da cultura grega no Egito. Junto ao pequeno vilarejo denominado Rhakotis, em frente à ilha de Pharos, foi fundada a nova cidade, que recebeu inicialmente o nome de Neápolis. A construção da cidade foi deixada a cargo do vice-rei Cleomenes e do arquiteto rodhiano Deinócrates. Poucos meses depois Alexandre deixou o Egito, e nunca conheceu em vida a cidade que, em sua homenagem, veio a ser denominada Alexandria. Alexandre morreu em 323 a. C. com a idade de 33 anos, e seu corpo foi levado a Alexandria para ser sepultado.

Ao lado mapa do Antigo Egito com algumas das principais cidades. Cotado de <http://www.perseus.tufts.edu/GreekScience/Students/Ellen/Museum.html>.

A cidade do Cairo foi fundada no Século VII sob o domínio árabe.



Com a morte de Alexandre o Grande, o império foi repartido entre seus generais, cabendo o Egito a Ptolomeu, parente de Alexandre. Ptolomeu se tornou faraó do Egito e expandiu seu império, iniciando a idade de ouro de Alexandria. Seu sucessor, Ptolomeu II Philadelphus, rei do Egito a partir de 287 a. C., empreendeu grandes construções na capital. Em seguida, a partir de 246 a. C., reinou seu filho Ptolomeu III Euergetes, um grande líder militar e incentivador das ciências.

Sob seu reinado Alexandria atingiu o auge em fama e riqueza.

Os faraós Ptolomeus empreenderam grandes construções. Uma das mais famosas foi o Farol de Alexandria. Construído na ilha de Pharos, foi considerado uma das Sete Maravilhas do Mundo Antigo. O farol serviu de referência para os navegantes por 16 séculos. Foi destruído por uma série de terremotos ocorridos na região, tendo desaparecido definitivamente por volta de 1300.

Outras famosas construções da antiga cidade de Alexandria foram o Museu (um instituto de pesquisa em medicina e ciências naturais), a Biblioteca de Alexandria e o Templo de Serápis.

Os faraós da dinastia Ptolomaica governaram o Egito até o ano 30 a. C. Os faraós homens chamavam-se Ptolomeus, e o último da dinastia foi Ptolomeu XII. Os faraós mulheres chamavam-se Cleópatras, e o último da dinastia foi Cleópatra VII, filha de Ptolomeu XII. Cleópatra VII foi o último faraó do Egito. Reinou de 51 a. C. até 30 a. C., quando os egípcios perderam a batalha de Actium, no Adriático, para os romanos. O Egito passou a ser dominado pelos Césares.

Com o desmembramento do Império Romano no Século V, a cidade de Alexandria passou a fazer parte do Império Bizantino. Em 616 foi tomada pacificamente pelos Persas, e 5 anos depois voltou ao domínio romano. Em 642 os árabes a tomaram pacificamente. Os árabes preferiam a terra ao mar, de modo que mudaram a capital do Egito para a região onde hoje está a cidade do Cairo. A cidade de Alexandria perdeu o apoio governamental e ficou reduzida a uma pequena base naval. Em 1498 os portugueses descobriram uma rota marítima para as Índias, acarretando mais um desastre econômico para a cidade. Foi tomada pelos turcos em 1517, e invadida por Napoleão em 1798. No início do Século XIX o vice-rei otomano Muhammad Ali Pasha reconstruiu a cidade, iniciando uma nova era. A abertura do canal de Suez em 1869 trouxe grande impulso à cidade, que se tornou um porto privilegiado para o comércio entre a Europa e a Índia. Em 1882 tornou-se parte do Reino Unido, servindo de base naval nas duas grandes guerras. Os britânicos deixaram a cidade em 1946, e o Egito se tornou uma república, hoje República Árabe do Egito.

A cidade de Alexandria é hoje a segunda maior cidade do Egito e seu maior porto naval.



Duas vistas do Forte de Qaitbey, construído em 1480 pelo Sultão de Qaitbey, provavelmente sobre as fundações do antigo Farol.



Mapa do atual Egito, com a localização de algumas cidades.

Fonte: Revista Cliparts&Fontes, Ano 1, nº 3, editora Escala, São Paulo.

[início desta página](#)

A Antiga Biblioteca de Alexandria

A idéia de Biblioteca como local de conservação e consulta pública de livros era comum a muitas civilizações antigas, no Egito, Síria, Ásia Menor, Mesopotâmia, Pérsia. Eram instituições que tinham como principal objetivo preservar e divulgar a cultura nacional.

A Biblioteca de Alexandria se distinguiu por ser um centro universal, aberto ao saber e à pesquisa sem fronteiras. A idéia de uma cultura universal, cosmopolita, cultivada na Grécia, foi trazida para o Egito por Alexandre o Grande, quando da fundação de Alexandria, e por seu parente, o macedônio Ptolomeu I, o primeiro faraó do Egito sob domínio grego. Diz a História que Demétrio de Phaleron incentivou Ptolomeu I a fundar em Alexandria uma academia similar à de Platão. Foram trazidos livros da cidade de Atenas, dando início à antiga biblioteca.

Nos reinados dos três primeiros faraós da dinastia Ptolomaica foram construídos a biblioteca, um museu contendo jardins, um parque zoológico com animais exóticos, salas de aula e um observatório astronômico. Parece que de 30 a 50 pesquisadores, vindos de todas as partes do mundo civilizado, participavam do complexo, sustentados inicialmente pela família real, e depois através de fundos públicos.

Representação artística da antiga cidade. Cotado de <http://www.angelfire.com/al/alexandriano1/bibliot.html>



O acervo da biblioteca teve uma grande expansão no reinado de Ptolomeu III, que solicitava livros de todo o mundo para copiar, e utilizava os mais diversos meios para obtê-los. Com isso Alexandria se tornou um grande centro de fabricação e comércio de papiros, e uma legião de trabalhadores se dedicavam a esse mister, ao lado de inúmeros copistas e tradutores.

Está registrado na História que o primeiro bibliotecário foi Zenódoto de Éfeso de 284 a 260 a. C. Seu sucessor foi Calímaco de Cirene, de 260 a 240 a. C. Calímaco empreendeu uma catalogação dos livros. Por essa época a biblioteca tinha mais de 500.000 pergaminhos de vários tipos. De 235 a 195 a. C. Eratóstenes de Cirene foi o bibliotecário. Em 195 o posto foi assumido por Aristófanes, que atualizou o catálogo de Calímaco. O último bibliotecário de que se tem notícia foi Aristarco da Samotrácia, o astrônomo, que assumiu o posto em 180 a. C. As datas aqui referidas possivelmente não são de todo exatas. De uma forma ou de outra a biblioteca funcionou até o século IV.

Dizem que a biblioteca chegou a ter 700.000 pergaminhos. Era suporte para estudos de diversas áreas do conhecimento, como Filosofia, Matemática, Medicina, Ciências Naturais e Aplicadas, Geografia, Astronomia, Filologia, História, Artes, etc. Os pesquisadores alexandrinos organizavam expedições para aprender mais em outras partes do mundo. Desenvolveram tanto as ciências puras como as aplicadas. Falam-se de inúmeras invenções, como bombas para puxar água, sistemas de engrenagens, odômetros, uso da força do vapor de água, instrumentos musicais, instrumentos para uso na astronomia, construção de espelhos e lentes.

A destruição da Antiga Biblioteca de Alexandria é um assunto delicado, pode-se cair em afirmações injustas devido à falta de conhecimento histórico exato. Para mais informações confira as páginas sugeridas abaixo. Existem muitas lendas a respeito, e pouca evidência histórica. Parece que a biblioteca, em função de seu grande acervo, era alocada em diversos prédios espalhados pela cidade. Dizem que as diversas invasões estrangeiras e também lutas internas ocasionaram cada uma perdas parciais. Parte do acervo foi queimado quando da invasão dos romanos em 48 a. C., diz-se que acidentalmente. Como compensação, em 41 a. C. o imperador romano Marco Antonio doou 200.000 pergaminhos à biblioteca, ato talvez não de todo meritório, pois esses pergaminhos foram subtraídos da biblioteca de Pérgamo. Depois de passar por várias vicissitudes semelhantes, conta-se que a biblioteca de Alexandria teria sofrido perdas com a tomada do poder pelos dirigentes cristãos, por volta do ano de 391. A versão de que os árabes terminaram de destruir a biblioteca quando de sua invasão em 642 está em descrédito. Parece que por essa época a biblioteca já não mais existia.

Existem muitas lendas sobre os livros da famosa biblioteca e os assuntos que ali se podia ler, a respeito de alquimia, visita de extraterrestres, histórias de civilizações antiquíssimas, registros das mais diversas cosmologias, etc. Alguns autores sustentam que o essencial está a salvo em profundas cavernas em alguns locais ermos do planeta. Estariam resguardados, em algum lugar, os tratados perdidos de Matemática, assim como tantos outros? Parece que tão cedo não saberemos a verdade.

[início desta página](#)

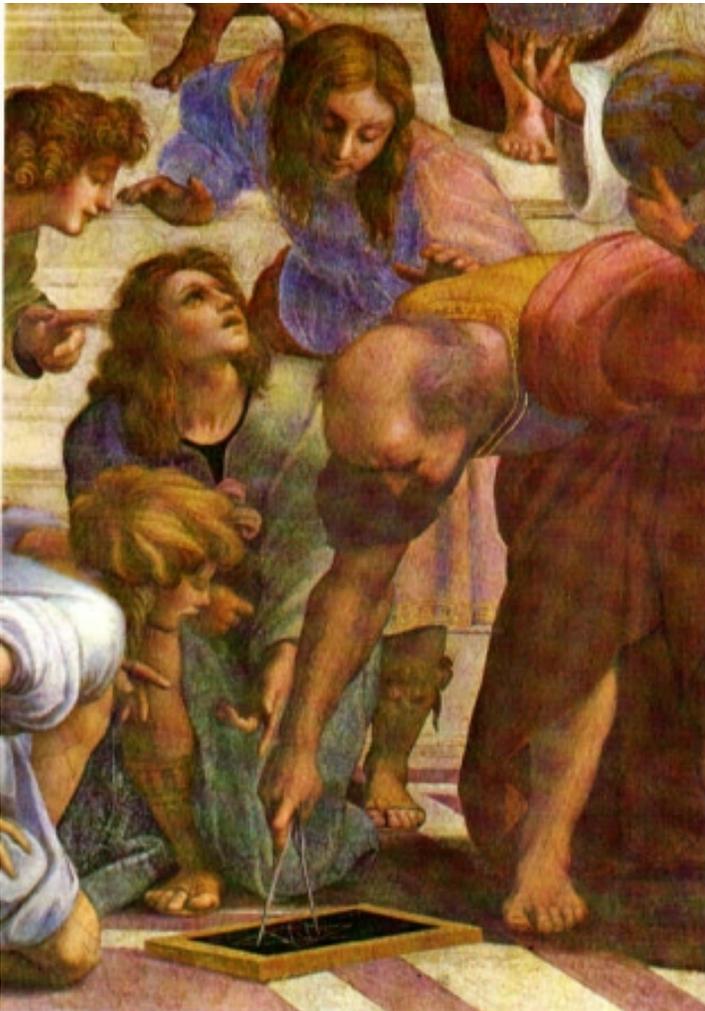
Matemáticos ligados à Antiga Biblioteca de Alexandria

A Escola de Alexandria está entre as três maiores escolas de Matemática da antiga civilização mediterrânea, ao lado da Escola Pitagórica, que era sediada na cidade de Crotona, Itália, e da Academia de Platão, sediada em Atenas, Grécia. A influência da Escola de Alexandria se estendeu principalmente de 300 a. C. a 400 d. C.

Os matemáticos mais conhecidos que estudaram ou lecionaram na antiga Biblioteca de Alexandria foram: Euclides de Alexandria, Eratóstenes de Cirene, Apolônio de Perga, Aristarco de Samos, Hipsicles, Heron de Alexandria, Menelau de Alexandria, Ptolomeu de Alexandria, Diofanto de Alexandria, Pappus de Alexandria, Theon de Alexandria, Hipácia de Alexandria e Proclus Diádoco. Indiretamente outros nomes de matemáticos estiveram ligados à Biblioteca de Alexandria, como Arquimedes de Siracusa, que se correspondia com Eratóstenes, e Nicômano de Gerasa.

Segue uma pequena biografia de cada um.

Euclides de Alexandria. Pouco se sabe sobre sua vida, mas pode-se dizer que morou em Alexandria e ensinou na Biblioteca na segunda metade do Século IV a. C. Sua obra mais conhecida, *Os Elementos*, foi escrita por volta de 320 a. C. Nessa obra Euclides apresenta o conhecimento matemático de seu tempo sob uma estrutura axiomática. *Os Elementos* exerceu grande influência científica e pedagógica desde a época de Euclides até o início da Idade Moderna.



Euclides de Alexandria conforme a visão artística de Rafael Sanzio em seu afresco *Cognitio Causarum*. Euclides manuseia um compasso e explica Geometria para alguns estudantes.

Confira [Escola de Atenas](#).

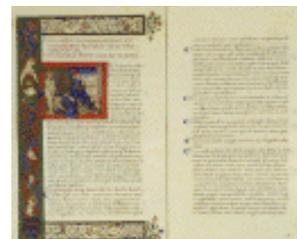
Eratóstenes de Cirene. Passou sua juventude em Atenas, distinguindo-se em Poesia, Astronomia, História, Matemática e Atletismo. Na idade adulta foi chamado a Alexandria por Ptolomeu III para ensinar a seu filho e para ser o bibliotecário da Biblioteca. Sua contribuição mais conhecida em Matemática é o que chamamos hoje de *crivo de Eratóstenes*. Distinguiu-se ainda em Geografia, e conseguiu um método para medir o raio da Terra.

Arquimedes de Siracusa. Nasceu por volta de 287 a. C., e morreu em 212 a. C., durante o cerco de Siracusa empreendido pelos romanos. Talvez tenha estudado em Alexandria, mas a maior parte do tempo viveu em Siracusa. Trabalhou em diversos ramos do conhecimento, como em Astronomia, Hidrostática, Ótica, Mecânica, diz-se que inventou diversos engenhos. Em Matemática é considerado um dos grandes gênios, comparando-se a Newton e Gauss. Seus trabalhos marcaram o início do Cálculo Integral.

Página de uma tradução latina contendo parte de uma obra de Arquimedes "Sobre Conóides e Esferóides". Por Jacobus Cremonensis (cerca de 1458).

Acesse a [foto detalhada \(155 KB\)](#).

Cotado de [Greek Mathematics and its Modern Heirs](#), Vaticano.



Apolônio de Perga. Foi educado em Alexandria por volta de 250 a. C. É considerado o maior geômetra da antiguidade, e sua obra *Cônicas* teve grande influência no desenvolvimento da Matemática.

Aristarco de Samos. Astrônomo, propôs o sistema heliocêntrico. Calculou as distâncias relativas da Terra à Lua e da Terra ao Sol, assim como o tamanhos da Lua e do Sol em relação ao da Terra.

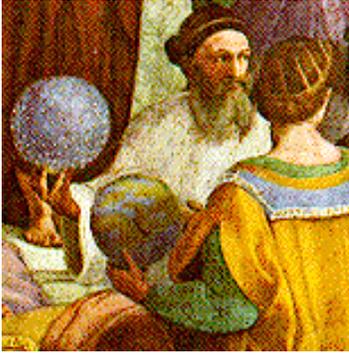
Hipsicles. Viveu por volta de 180 a. C. Astrônomo, contribuiu em Matemática com o estudo da trigonometria, poliedros, números poligonais, progressões e equações.

Heron de Alexandria. Viveu por volta de 50 d. C. Trabalhou em Mecânica, Ótica e Matemática. Nesta última distinguiu-se pelo aspecto aplicado de suas obras, dentre elas *Métrica*, que contém exemplos de mensuração de comprimentos, áreas e volumes.

Menelau de Alexandria. Viveu por volta do ano 100. Sabe-se que escreveu várias obras de trigonometria e geometria, mas a única que se preservou foi *Sphaerica*. Nessa obra considerou triângulos na esfera e provou, dentre outros resultados, que a soma dos seus ângulos internos é maior do que 180° .

Nicômano. Viveu por volta do ano 100. Foi um neo-pitagórico, fazendo parte do grupo de filósofos, com centro em Alexandria, que procuravam reviver os ensinamentos de Pitágoras. Sua obra *Introdução à Aritmética* apresenta uma introdução à Teoria dos Números sob o ponto de vista da filosofia pitagórica.

Ptolomeu de Alexandria. Viveu por volta de 150, e ensinou em Atenas e em Alexandria. É considerado o maior astrônomo da antiguidade. Sua obra *Síntese Matemática*, em treze livros, ficou mais tarde conhecida como *Almajesto*, que significa "o maior". Nessa obra Ptolomeu desenvolve a trigonometria e apresenta um modelo geocêntrico para o sistema solar, modelo este utilizado por mais de 1300 anos.

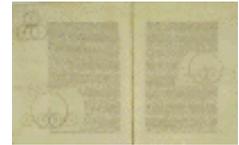


Ptolomeu de Alexandria conforme a visão artística de Rafael Sanzio em seu afresco *Cognitio Causarum*. Ptolomeu está de costas, segurando um globo terrestre. Confira [Escola de Atenas](#).

Página de uma tradução latina do Almagesto, por George Trebizond (cerca de 1481).

Acesse a [foto detalhada \(603 KB\)](#).

Cotado de [Greek Astronomy](#), Vaticano.



Diofanto de Alexandria. Considerado um dos maiores matemáticos da civilização grega. Dentre outras obras, escreveu *Aritmética*, que teve grande influência na História da Matemática. Nessa obra Diofanto introduz notação algébrica e estuda equações indeterminadas, hoje chamadas *equações diofantinas*, em sua homenagem.

Papus de Alexandria. Viveu por volta do ano 300, e é considerado o último dos grandes geômetras da antiga civilização grega. Sua obra chamada *A Coleção* continha 8 livros, mas parte se perdeu. O que se conservou nos dá um importante registro da geometria grega e das próprias descobertas de Papus em Matemática, Astronomia, Ótica e Mecânica. Graças à sua propensão para generalizar, Papus chegou perto do princípio fundamental da Geometria Analítica, 1300 anos antes de Descartes e Fermat.

Theon de Alexandria. Filósofo e matemático, viveu por volta de 365 em Alexandria. Editou *Os Elementos* de Euclides, edição esta que se preservou e tem grande importância para os historiadores. Escreveu vários tratados científicos, e descreveu um método para calcular raízes quadradas com frações sexagesimais.

Hipácia de Alexandria. Filha de Theon de Alexandria, era filósofa e matemática. Ensinava na Biblioteca, e escreveu comentários sobre as obras de Diofante, Ptolomeu e Apolônio. Hipácia presidia a escola neo-platônica em Alexandria, e com isso atraiu a inimizade de grupos de fanáticos religiosos, em mãos dos quais morreu martirizada, em 415. A morte de Hipácia marcou o fim de Alexandria como centro científico.

Proclus Diádoco. Nascido em Bizâncio em 412, morreu em 485. Estudou em Alexandria e ensinou em Atenas, onde se tornou o líder da Escola Platônica em sua época. Diádoco significa Sucessor, cognome aplicado a Proclus possivelmente por ser considerado o sucessor de Platão. Proclus era filósofo e estudioso da Matemática. Seu livro *Comentário sobre o Livro I de Os Elementos* é muito importante para a História da Matemática, pois ao escrevê-lo Proclus utilizou um exemplar da *História da Geometria*, de Eudemus, obra hoje desaparecida, assim como um exemplar de *Comentários sobre Os Elementos*, de Papus, hoje quase todo perdido. Proclus era um escritor prolífico e fez comentários sobre passagens difíceis da obra de Ptolomeu.

[início desta página](#)

Endereços para mais informações

- [a] <http://www.sis.gov.eg/alex-lib/html/alex0.htm> Alexandria Library
- [b] <http://portal.unesco.org/> notícias sobre o Egito no portal da UNESCO
- [c] <http://www.perseus.tufts.edu/GreekScience/Students/Ellen/Museum.html> Trabalho da estudante Ellen N. Brundige sobre a Antiga Biblioteca de Alexandria.
- [d] <http://www.greece.org/alexandria/library/index.htm> A Antiga Biblioteca de Alexandria. Pelo Prof. Moustafa El-Abbadi.
- [e] <http://www.bede.org.uk/library.htm> The Mysterious Fate of the Great Library of Alexandria.
- [f] <http://www.slis.uwm.edu/SLIS/Bibliotheca.htm> The Bibliotheca Alexandrina.
- [g] http://www.egypttourism.org/New%20Site/places/bibliotheca_alexandrina.htm Revival of the Ancient Library of Alexandria.

[início desta página](#)

Referências

- [1] *Biblioteca Alexandrina: é possível revivê-la?* Revista Univerciência, Ano 1, nº 2/3, página 26. Universidade Federal de São Carlos, <http://www.univerciencia.ufscar.br>.
- [2] Boyer, C. B., *História da Matemática*. Tradução de Elza Gomide. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1996.
- [3] Encyclopaedia Britannica, 15ª Edição. Londres, Helen Hemingway Benton Publisher, 1978.
- [4] Kline, M., *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times*. New York, Oxford University Press, 1972.
- [5] Smith, D. E., *History of Mathematics*. Volume I. New York, Dover Publications, 1958.

[início desta página](#)

Apresentado para publicação em 24/02/2003 por Roberto Ribeiro Paterlini, do DM-UFSCar. O autor utilizou as referências listadas acima. As figuras sem referência foram obtidas em sítios de divulgação da Bibliotheca Alexandrina. Não conseguimos a autoria. Revisado por Nelio Baldin, do DM-UFSCar.

Publicado em 14/04/2003. Atualizado em 14/04/2003.

Programa Educ@r CDCC - USP SC
Ótica para Alunos do Ensino Médio

1 - Luz: Fundamentos teóricos

1.1 Natureza da luz - O que é a luz?

- [Teoria corpuscular da luz](#)
- [Teoria ondulatória da luz](#)
- [Dualidade onda/partícula](#)

1.2 Conceitos básicos - luz

- [Ondas, frentes de onda e raios](#)
- [Princípios da propagação da luz](#)
- [Fontes de luz: objetos luminosos e iluminados](#)

1.1 Natureza da luz - O que é a luz?

Teoria corpuscular da luz

Em 1672, o físico inglês Isaac Newton (fig. 1.1) apresentou uma teoria conhecida como modelo corpuscular da luz. Nesta teoria a luz era considerada como um feixe de partículas emitidas por uma fonte de luz que atingia o olho estimulando a visão.

Esta teoria conseguia explicar muito bem alguns fenômenos de propagação da luz .

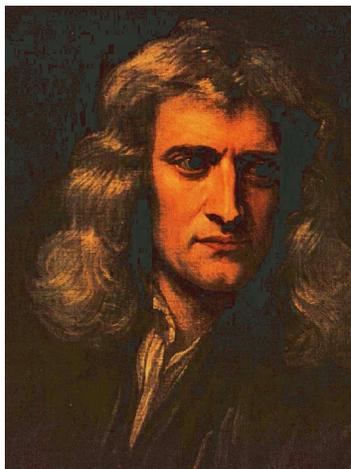


Fig. 1.1 Sir Isaac Newton (1642-1727)

Newton publicou muitos trabalhos no campo da ótica e da matemática. Revolucionou a ciência física formulando as três leis básicas da mecânica e a lei da gravitação universal. Newton descobriu também que a luz poderia se dividir em muitas cores, através de um prisma, fenômeno da dispersão da luz (fig. 1.2), e usou esse conceito experimental para analisar a luz.

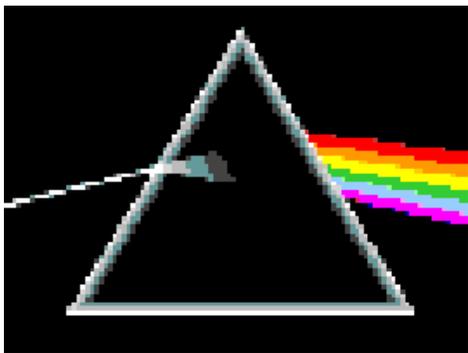


Fig. 1.2 Dipensão da luz através de um prisma



Teoria ondulatória da luz

No século XIX, o cientista francês L. Foucault, medindo a velocidade da luz em diferentes meios (ar/água), verificou que a velocidade da luz era maior no ar do que na água, contradizendo a teoria corpuscular que considerava que a velocidade da luz na água deveria ser maior que no ar (Newton não tinha condições, na época, de medir a velocidade da luz).

Na segunda metade do século XIX, James Clerk Maxwell (fig. 1.3), através da sua teoria de ondas eletromagnéticas, provou que a velocidade com que a onda eletromagnética se propagava no espaço era igual à velocidade da luz, cujo valor é, aproximadamente:

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 300\,000 \text{ km/s}$$

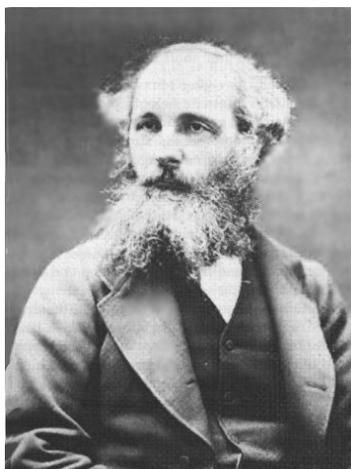


Fig. 1.3 James Clerk Maxwell (1831-1879)

Físico escocês que fez importantes trabalhos em eletricidade e eletromagnetismo. O seu maior trabalho foi a previsão da existência de ondas eletromagnéticas.

Maxwell estabeleceu teoricamente que:

A luz é uma modalidade de energia radiante que se propaga através de ondas eletromagnéticas.

Hertz, 15 anos após a descoberta de Maxwell, comprovou experimentalmente a teoria ondulatória, usando um circuito oscilante.

Características de uma onda: comprimento de onda (λ) e frequência (f).

A velocidade da onda é dada pelo produto do comprimento de onda, λ (fig 1.4), pela frequência, f , ou seja, este produto é constante para cada meio:

$$v = \lambda \cdot f$$

1.1

O que se observa pela relação 1.1 é que quanto maior a frequência menor o comprimento de onda e vice-versa.

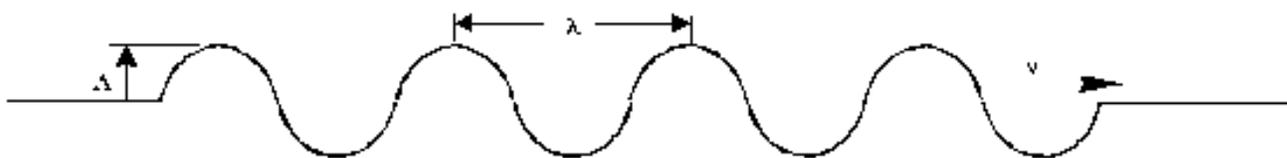


Fig. 1.4 Representação de uma onda apresentando comprimento λ , amplitude A e velocidade V

O espectro eletromagnético (conjunto de ondas eletromagnéticas - fig. 1.5) apresenta vários tipos de ondas eletromagnéticas: ondas de rádio, microondas, radiação infravermelha, luz (radiações visíveis), ultravioleta, raios X e raios gama. As ondas diferem entre si pela frequência e se propagam com a mesma velocidade da luz no vácuo.

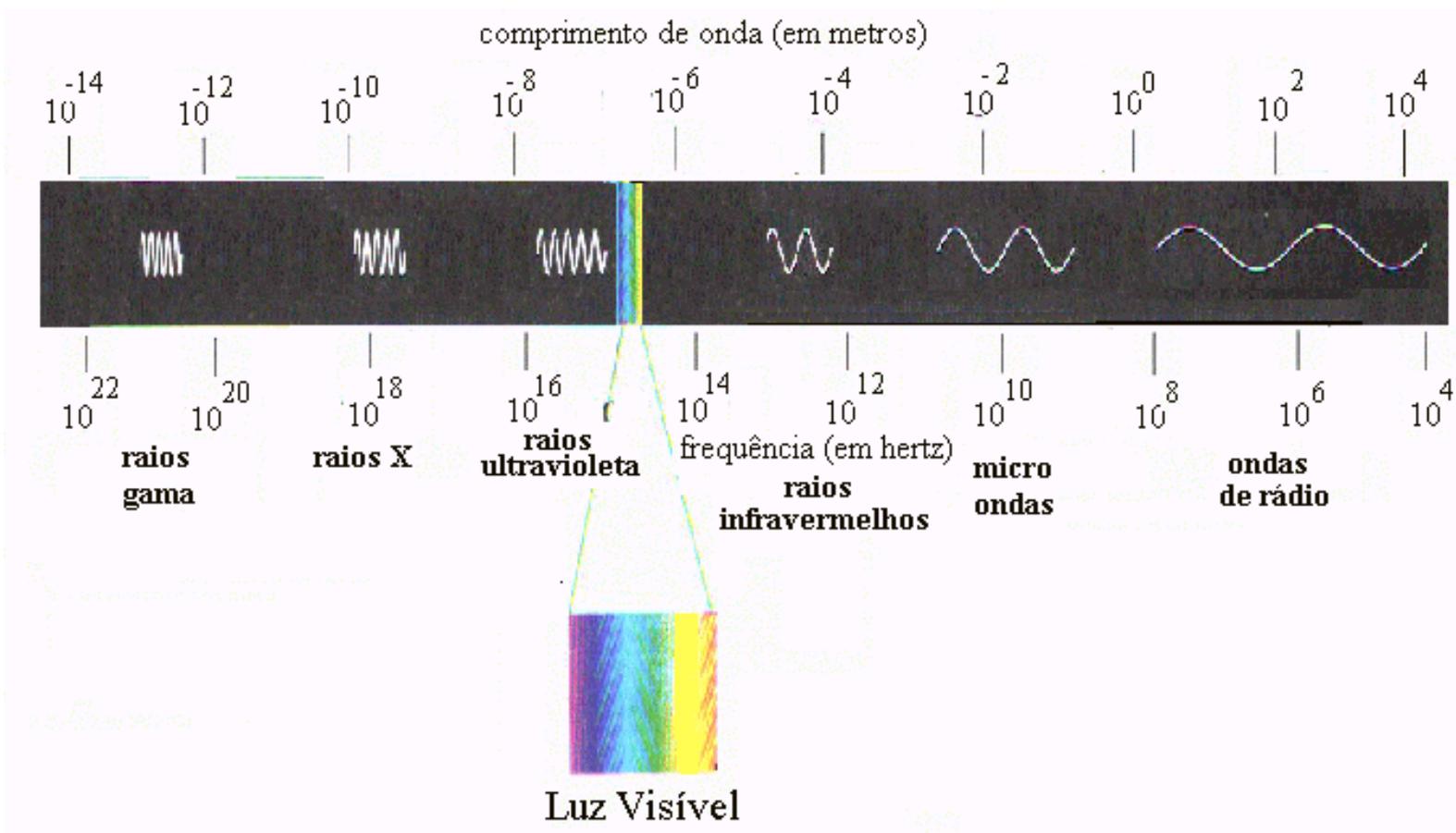


Fig. 1.5 Espectro eletromagnético mostrando a faixa da luz visível (a figura não está em escala)

No espectro eletromagnético o domínio correspondente à luz é:

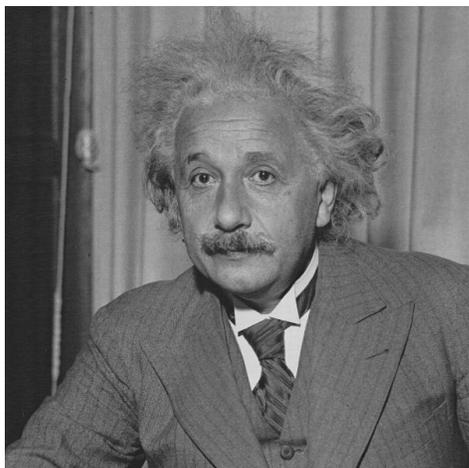
$f = 8,35 \times 10^{14}$ Hz que corresponde a $\lambda = 3,6 \times 10^{-7}$ m (cor violeta), até $f = 3,85 \times 10^{14}$ Hz que corresponde a $\lambda = 7,8 \times 10^{-7}$ m (cor vermelha).



Dualidade onda/partícula

Quando parecia que realmente a natureza da luz era onda eletromagnética, essa teoria não conseguia explicar o fenômeno de emissão fotoelétrica, que é a ejeção de elétrons quando a luz incide sobre um condutor.

Einstein (1905 - fig 1.6) usando a idéia de Planck (1900), mostrou que a energia de um feixe de luz era concentrada em pequenos pacotes de energia, denominados fótons, que explicava o fenômeno da emissão fotoelétrica.



Em 1905 fez a famosa teoria da relatividade, que propunha analisar os movimentos das partículas que apresentavam grandes velocidades para as quais a mecânica Newtoniana não era válida.

Fig. 1.6 Albert Einstein (1879-1955).
O mais importante físico do século XIX.

A natureza corpuscular da luz foi confirmada por Compton (1911). Verificou que quando um fóton colide com um elétron, eles se comportam como corpos materiais.

Atualmente aceita-se o fato de que:

A luz tem caráter dual: os fenômenos de reflexão, refração, interferência, difração e polarização da luz podem ser explicados pela teoria ondulatória e os de emissão e absorção podem ser explicados pela teoria corpuscular.



1.2 Conceitos básicos - luz

Ondas, frentes de onda e raios

Uma *frente de onda* ou superfície de onda é o lugar geométrico de todos os pontos em que a fase de vibração ou variação harmônica de uma quantidade física é a mesma.

As *ondas eletromagnéticas* radiadas por uma pequena fonte de luz podem ser representadas por frentes de onda que são superfícies esféricas concêntricas (centros coincidentes) à fonte e a uma distância grande da fonte, como superfícies planas (fig. 1.7 a e b).

Considerando a teoria corpuscular, um *raio* é simplesmente a trajetória retilínea que um corpúsculo de luz percorre.

Considerando a teoria ondulatória, um *raio* é uma linha imaginária na direção de propagação da onda, ou seja, perpendicular à

frente de onda (fig. 1.7 a e b).

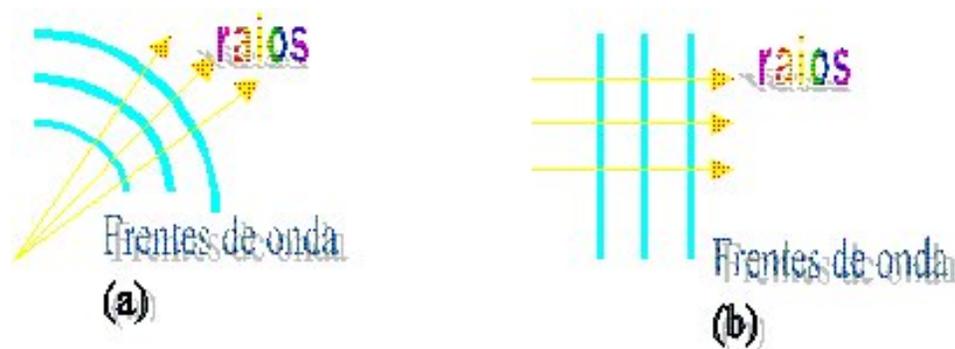


Fig. 1.7 a) Frentes de onda esféricas

b) Frentes de onda planas



Princípios da propagação da luz

- Princípio da propagação retilínea

Nos meios homogêneos e transparentes a luz se propaga em linha reta.

Este princípio é facilmente observado no nosso cotidiano: o feixe de luz proveniente de um holofote; qualquer processo de alinhamento; mira para atirar em uma alvo; formação de sombras; formação de imagens e outros.

Em meios heterogêneos a luz não se propaga necessariamente em linha reta. Como exemplo temos a atmosfera terrestre que aumenta a densidade com a altitude decrescente; em consequência disso os raios provenientes dos astros se encurvam ao se aproximarem da superfície terrestre, fenômeno conhecido como refração atmosférica (será estudada em refração).

- Princípio da independência dos raios de luz

A propagação da luz independe da existência de outros raios de luz na região que atravessa.

Este princípio você observa quando um palco é iluminado por dois feixes de luz provenientes de dois holofotes. A trajetória de um raio de luz não é modificada pela presença de outros: cada um segue sua trajetória como se os outros não existissem (fig. 1.8).

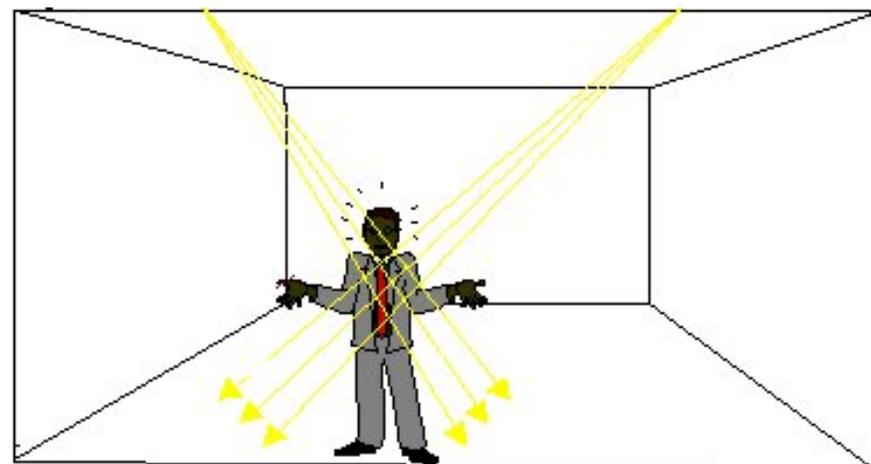


Fig. 1.8 Princípio da independência dos raios de luz



- Princípio da reversibilidade de raios luminosos

Considere que um raio faz o percurso ABC tanto no fenômeno da reflexão (fig. 1.9a) como na refração (fig.1.9b). Se o raio de luz fizer o percurso no sentido contrário CBA, a trajetória do raio será a mesma.

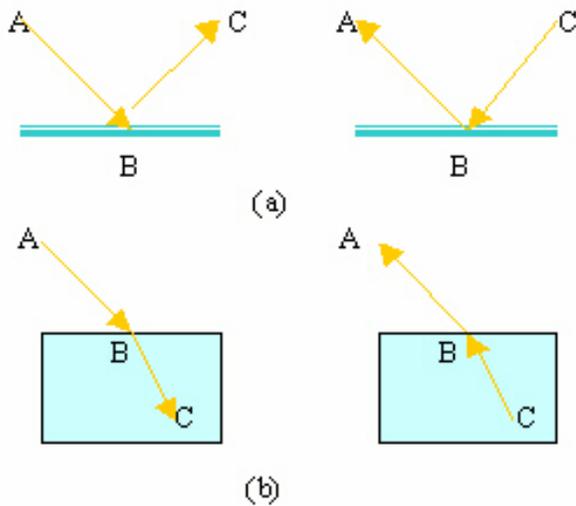


Fig.1.9 Reversibilidade dos raios luminosos

(a) Reflexão

(b) Refração

Este é o princípio da reversibilidade de raios luminosos ou princípio do caminho inverso, que pode ser enunciado como:

"A trajetória seguida pelo raio luminoso independe do sentido do percurso."



Fontes de luz - Objetos luminosos e iluminados

Objetos luminosos ou fontes de luz são aqueles que emitem luz própria, tais como o Sol, as estrelas, a chama de uma vela, lâmpadas.

Objetos iluminados são aqueles que não emitem luz própria mas, sim, refletem luz proveniente de uma fonte. Como exemplo de objetos iluminados temos a Lua, uma pessoa, um carro e outros objetos que nos rodeiam.

Na época de Platão, na Grécia, acreditava-se que os olhos emitiam partículas que tornavam os objetos visíveis. Atualmente sabemos que os objetos, para serem vistos, emitem luz proveniente de uma fonte, que atinge os nossos olhos (fig. 1.9)

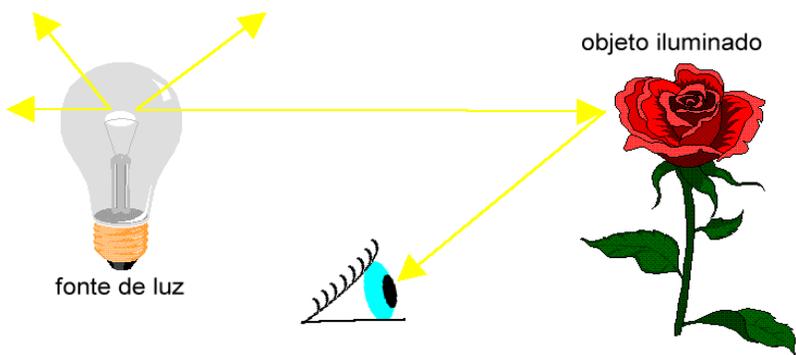


Fig. 1.10 Como nós enxergamos um objeto.

As fontes de luz podem ser pontuais e extensas. São consideradas pontuais ou puntiformes quando as dimensões se reduzem a um ponto luminoso e a formação de sombra do objeto é bem definida, e extensas quando é um conjunto de pontos luminosos.

Quando a fonte é extensa, além da sombra do objeto, há uma região de contorno que recebe alguma luz da fonte, denominada penumbra. Essa formação de sombra e penumbra ocorre nos fenômenos de eclipse do Sol (fig. 1.10 e 1.11).

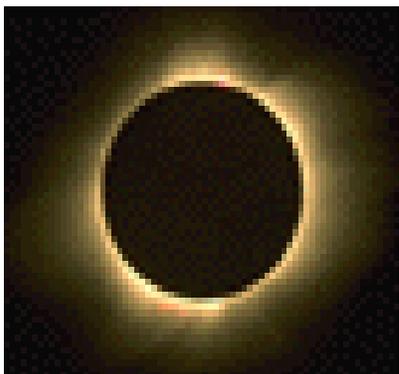
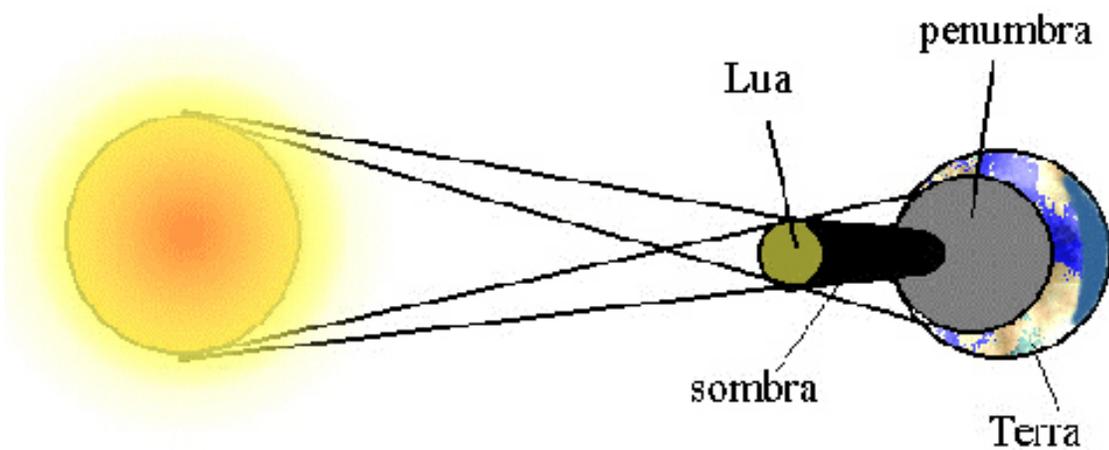


Fig.1.11 Eclipse do Sol



Quando a Lua está entre o Sol e a Terra, ocorre o ***eclipse total do Sol*** para o observador situado na região da sombra. Quando o observador está situado na região da penumbra, observa o ***eclipse parcial do Sol***

Fig. 1.12 Esquema do eclipse solar

● **Câmara escura**



A câmara escura de orifício é constituída de uma caixa de paredes opacas com um pequeno orifício, sendo a parede oposta ao orifício de papel vegetal. A fig. 1-13 mostra um esquema da câmara escura.

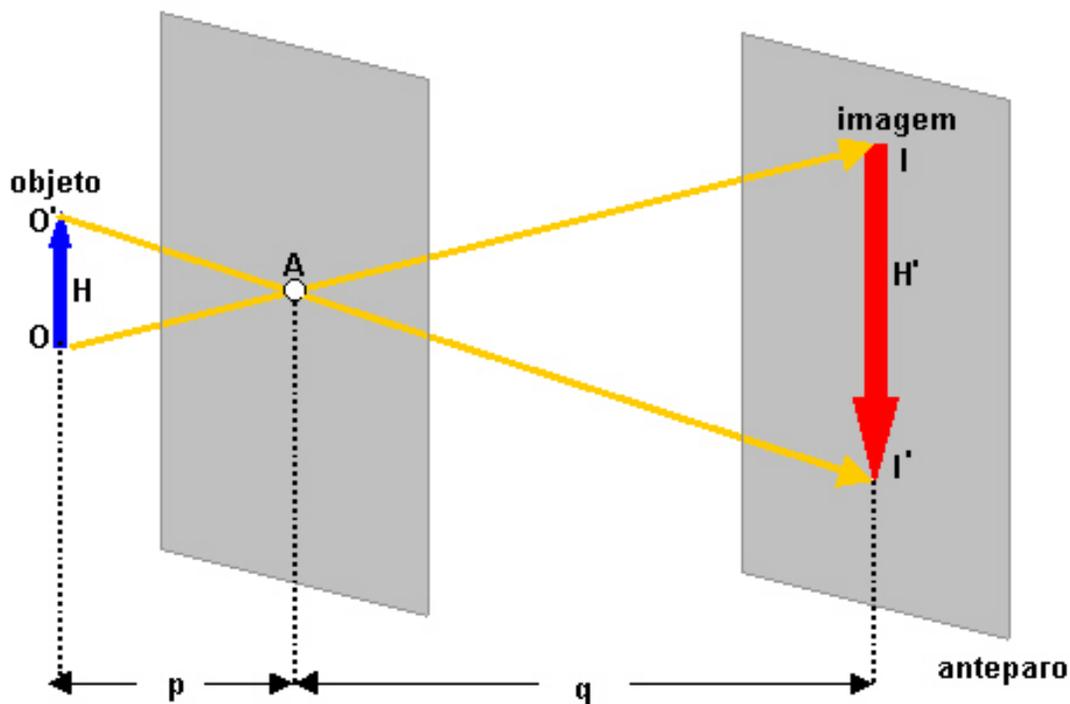


Fig 1.13 Câmara escura

Um objeto OO' de tamanho H , é colocado à uma distância p do orifício A . Os raios que partem do objeto atravessam o orifício, projetando uma imagem II' , de tamanho H' , à uma distância q do orifício A .

Vamos determinar a relação entre os tamanho do objeto H e da imagem H' , e as distâncias objeto p e imagem q .

Os triângulos $OO'A$ e $II'A$ são semelhantes; portanto sendo seus lados proporcionais, obtemos:

$$OO' / II' = p / q \quad 1.2$$

Observe, na expressão 1.2, que se aproximarmos o objeto da câmara, o tamanho da imagem aumenta e vice-versa.

O tamanho do orifício A deve ser pequeno porque senão perde-se a nitidez da imagem II' (da ordem de 0,008 vezes a raiz quadrada do comprimento da caixa).



- Hauptseite • Gerd K. Binnig • Max Born • Albert Einstein
- Werner Heisenberg • Herbert Kroemer • Philipp Lenard • J.
- Robert Oppenheimer • Max Planck • Wilhelm C. Röntgen • Max von Laue • Weitere •



Phillip Lenard

1862

7. Juni: Philipp Lenard wird als Sohn des Weinhändlers Philipp Lenard von Lenardis und dessen Frau Antonie (geb. Baumann) im österreich-ungarischen Preßburg (heute: Bratislava, Slowakei) geboren. Er wächst in einer nationalistischen Atmosphäre auf.

1881

Studium der Naturwissenschaften an den Technischen Hochschulen in Budapest und Wien.

1882

Mitarbeit im Geschäft des Vaters.

1883

Studium der Physik in Heidelberg bei Hermann Quincke (1834-1924) und Robert Bunsen (1811-1899).

1885

Fortsetzung seines Studiums in Berlin.

1886

Er vollendet seine Dissertation in Heidelberg "Über die Schwingungen fallender Tropfen", die er bereits auf Anregung Hermann von Helmholtz' (1822-1894) in Berlin begonnen hat.

1886-1889

Assistent bei Quincke.

1890

Nach kurzem Aufenthalt in England geht Lenard als Assistent nach Breslau.

1891

Wechsel an die Universität Bonn zu Heinrich Hertz (1857-1894).

1892

Lenard habilitiert sich mit der Arbeit "Über die Elektrizität der Wasserfälle". Er entwickelt eine Entladungsröhre mit einem "Lenardfenster". Zum ersten Mal können jetzt Kathodenstrahlen unabhängig vom Entladungsvorgang im Vakuum in Luft oder in anderen Materialien untersucht werden.

1894

Lenard betreut die Herausgabe der gesammelten Werke von Hertz. Er wird als außerordentlicher Professor nach Breslau berufen. Der Wechsel stellt sich für Lenard als eine Verschlechterung heraus, da die technische Ausstattung nicht ausreicht, um seine in Bonn begonnenen Experimente fortzusetzen.

1895

Wechsel an die Technische Hochschule Aachen, wo er sich weiter mit Kathodenstrahlen beschäftigt. Die Entdeckung der Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen überrascht und verärgert Lenard, der ihm bei der Beschaffung geeigneter Entladungsröhren behilflich war. Zudem hatte Lenard gehofft, diese Entdeckung selbst zu machen, da seine Experimente ähnlich weit fortgeschritten waren. Er gebraucht im folgenden immer den Begriff der "Hochfrequenzstrahlung" anstelle des gebräuchlichen der "Röntgenstrahlen".

1896

Lenard geht als außerordentlicher Professor für theoretische Physik nach Heidelberg.

1898

Es kommt zu einer Auseinandersetzung mit dem englischen Physiker und Nobelpreisträger von 1906, Joseph John Thomson (1856-1940). Thomson hatte sich mit Lenards Untersuchungsmethoden beschäftigt und konnte so seine eigenen Forschungen vorantreiben. Lenard hält diese Vorgehensweise für unzulässig. Der Streit ist Auslöser für Lenards sich stetig steigenden England-Haß. Lenard wird Professor und Leiter des physikalischen Instituts in Kiel. Der Aufbau eines neuen Instituts verschafft ihm optimale Forschungsbedingungen.

1900

Entdeckung der wichtigsten Gesetzmäßigkeiten des lichtelektrischen Effekts: Bei wachsender Lichtintensität wächst zwar die Zahl der ausgelösten Elektronen, aber deren Geschwindigkeit bleibt unverändert. Die Elektronengeschwindigkeit ist ausschließlich von der Frequenz des eingestrahnten Lichts abhängig.

1903

Lenard entwickelt ein "Dynamidenmodell" des Atoms, das besagt, daß der größte Teil des Atoms leer ist.

1905

Für seine Untersuchungen der Kathodenstrahlung wird Lenard der Nobelpreis für Physik verliehen.

1907

Er wird Direktor des Instituts für Physik und Radiologie in Heidelberg.

1913

Unter Lenards Leitung entsteht ein neues physikalisches Institut, das zwischen 1935 und 1945 seinen Namen trägt.

1914

Den Ersten Weltkrieg sieht er als Kampf zwischen "deutscher Kultur" und "westlicher Zivilisation". Bereits kurz nach Kriegsbeginn gibt Lenard - wie andere konservative Gelehrte auch - britische Orden und Auszeichnungen zurück. 4. Oktober: Er beteiligt sich an der überregionalen Gelehrtenresolution "Aufruf an die Kulturwelt": 93 prominente Intellektuelle weisen den Vorwurf einer deutschen Kriegsschuld ebenso wie den Vorwurf des Militarismus sowie deutscher Völkerrechtsbrüche zurück. Er veröffentlicht eine



Hetzschrift mit dem Titel "England und Deutschland zur Zeit des großen Krieges", in der er seine Kritik an Thomson mit nationalistischen Ausfällen gegen England verbindet.

ab 1918

Die deutsche Niederlage, die Münchner Räterepublik und die Weimarer Verfassung verschärfen Lenards Nationalismus und Antisemitismus. Er tendiert immer stärker zu völkisch-nationalistischen Ansichten.

1920

Auseinandersetzung mit Albert Einstein auf der Tagung der Naturforscher und Ärzte in Bad Nauheim. Lenard lehnt vehement die allgemeine Relativitätstheorie aus physiktheoretischen Überlegungen und aufgrund antisemitischer Vorurteile ab. Auch in der Folgezeit versucht Lenard, die Theorien Einsteins zu diskreditieren. Zu den neuen Ansätzen in der Physik findet Lenard als Experimentalphysiker immer schwerer Zugang. Er versucht die experimentelle Physik zu einer "nordischen Wissenschaft" zu stilisieren, die sich von der theoretischen Physik - in seinen Augen "jüdischer Weltbluff" - abhebt.

1921

Nach der Ermordung des Finanzministers Matthias Erzberger durch Aktivisten rechtsradikaler Kreise macht Lenard keinen Hehl aus der Anerkennung dieser Tat.

1922

27. Juni: Sein Antisemitismus führt zu einer von dem sozialdemokratischen Politiker Carlo Mierendorff angeführten Besetzung des Instituts durch Arbeiter und Studenten. Lenard weigerte sich, die allgemeine Arbeitsruhe anlässlich des Staatsbegräbnisses von Walther Rathenau einzuhalten und am Institut halbmast zu flaggen. Der Senat der Heidelberger Universität verurteilt Lenards Verhalten stark und leitet ein Disziplinarverfahren gegen ihn, aber auch gegen Mierendorff ein. Als der badische Kultusminister Willy Hellpach Lenard vom Dienst suspendiert, bittet dieser um seine Entlassung. Physikalische Gesellschaften, einzelne Physiker und Heidelberger Studenten setzen sich für Lenard ein, so daß Hellpach die Suspendierung und Lenard sein Entlassungsgesuch zurücknimmt.

1924

Zusammen mit dem Nobelpreisträger Johannes Stark (1874-

1957) verfaßt er den Aufruf "Hitlergeist und Wissenschaft". Nach diesem öffentlichen Bekenntnis zu Adolf Hitler und Erich Ludendorff wird Lenards Institut zum Zentrum rechtsgerichteter Kreise.

1926

Persönliches Kennenlernen Hitlers.

1929

Lenard gibt sein historisches Werk "Große Naturforscher" heraus. Die Forscher sind seiner Darstellung nach alle "arisch-germanischen" Ursprungs.

1931

1. April: Er tritt in den Ruhestand.

1936

Lenard ist erster Träger des von der Nationalsozialistischen Deutschen Arbeiterpartei (NSDAP) gestifteten Wissenschaftspreises. Alfred Rosenberg hält bei der Feierlichkeit die Laudatio. Lenards vierbändiges Lehrbuch für Experimentalphysik "Deutsche Physik" erscheint: Demnach könne wahre Naturkenntnis nur von der "arischen Rasse" gewonnen werden. Die Arbeiten Einsteins bezeichnet Lenard als "Jahrmarktslärm" und "Judenbetrug".

1937

Er wird Mitglied der NSDAP, die ihm ihr Goldenes Ehrenabzeichen verleiht. Lenard zieht sich mehr und mehr aus dem öffentlichen Leben zurück.

1945

Nach Ende des Zweiten Weltkriegs wird er aufgrund seines hohen Alters nicht von den Amerikanern interniert. Er verläßt Heidelberg und zieht nach Messelhausen (Baden).

1947

20. Mai: Philipp Lenard stirbt in Messelhausen.







The MacTutor History of Mathematics archive

[Biographies Index](#)

[History Topics Index](#)

[Famous curves index](#)

[Mathematicians of the day](#)

[Search the archive](#)

[Help](#)

[Contact us](#)

Recently added features

[Mathematicians with biographies in Aubrey's *Brief Lives*](#)

[Other changes to the archive to MAY 2003](#)

[Some student projects on the history of mathematics](#)

School of Mathematics
and Statistics



University of St Andrews
Scotland

If the above menus do not work, go to the [Non-JavaScript index](#)

**Awards won by the
MacTutor History
of Mathematics archive:**

See our [Trophy Room](#) for more details.

JOC/EFR August 2003

Created by [John J O'Connor](#) and [Edmund F Robertson](#)

The URL of this page is:

<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/index.html>

A BRIEF BIOGRAPHY OF THOMAS YOUNG

The nature of light is a subject of no material importance to the concerns of life or to the practice of the arts, but it is in many other respects extremely interesting.

Thomas Young (1773-1829)

The nature of light - whether light is made of particles or is a wave - was one of the most intriguing questions of the 17th and 18th centuries, and it led to some rather bizarre consequences. The wave-particle controversy of the last few centuries has now been replaced by wave-particle duality; but this apparent combination of the two differing ideas has, in many ways, added to the complexity of the problem. While, today, we can account for many of the apparently conflicting phenomena observed, it does not mean we have established a complete theory; on the contrary, it has only served to help us understand our limitations.

During the 18th century the *corpuscular* or particle theory of light was favored by most scientists. Newton had expressed some difficulties with a wave theory, particularly the fact that diffraction (or 'bending') of light was not so easily observed as it was for other types of waves, for example, sound [\[1\]](#) and water waves. Although he did not reject completely the idea of a periodic disturbance, i.e., a wave motion, he advanced a particle theory which, because of his great authority among his contemporaries, was widely accepted. However, several of his contemporaries, notably Robert Hooke (1635-1703) and Christian Huygens (1629-1695), suggested wave theories; Hooke to account for the colors in thin films and Huygens to account for the finite velocity of light that had been determined by Olaus Roemer (1644-1710), based on the eclipses of the Jovian moons by Jupiter. Although Huygens idea of wave propagation was correct he believed incorrectly that the oscillations take place in the direction of the propagation, i.e., longitudinal waves, whereas they are, in fact, transverse waves with the oscillations perpendicular to that direction. Francesco Grimaldi (1618-1663), on the basis of some diffraction experiments using small apertures, had also suggested that light had wave-like properties. The evidence was purely qualitative and Newton's reputation was such that the corpuscular theory was not replaced by the wave hypothesis until the experiments of Thomas Young. Young's experiments were highly supportive of the wave-like nature of light and so cast serious doubts on the corpuscular theory.

Ironically, Newton had written about a curious phenomenon he noticed; of colored "rings" formed when he placed two lenses on top of each other, viz:



However, he contrived to give a complicated explanation and said ...

"I forbore to treat of these Colors, because they seemed of a more difficult Consideration, and

were not necessary for establishing the Properties of Light there discoursed of."

Contrary to his assertions, Newton's rings represent one of the best proofs of the wave nature of light- as we will see - the truth of which Newton did not want to recognize!



Thomas Young (1773-1829)

Thomas Young was born into 'comfortable circumstances' at Milverton, England on June 13, 1773, towards the end of a period known as the *Intellectual Revolution*. He matured into the *Age of Romanticism* among such contemporaries as the poets Wordsworth and Shelley, the composers Beethoven and Schubert, the philosophers Hegel and Schopenhauer, and his own scientific colleagues Fresnel, Avagadro, Oersted and Faraday.

Young was a precocious child who could read fluently at the age of two and read widely the classics. He started Latin at six, was tutored privately at first but later attended private schools. By the time he was sixteen he was proficient in Greek and Latin and was well acquainted with eight other languages, classical and modern. By the age of eighteen he was recognized as a truly accomplished scholar.

In 1792, at age nineteen, Young decided on a career in medicine. The following year he presented a paper before the Royal Society in which he attributed the accommodation of the eye to its muscular structure; he was elected one year later to membership of the Society. After completing his medical studies at Edinburgh and Göttingen, he returned to London to practice but continued his scholarly studies at Emmanuel College, Cambridge. He became financially independent on the death of an uncle and that allowed him to pursue his real interests. Some investigations on sound and light, which he carried out in 1798, likely formed the starting point for his theory of interference. In fact, his interests and contributions were so legion that he made some anonymously to avoid the charge that he was neglecting his professional duties!

In 1801 Thomas Young was appointed professor of natural philosophy at the Royal Institution, which

provided him the opportunity of presenting lectures to popular audiences. Apparently, his lectures were not well suited to this kind of audience, being designed more for the specialist than the layman. He was appointed foreign secretary to the Royal Society in 1802, a post that he held to the end of his life. He resigned his professorial position at the Royal Institution, feeling that his duties were affecting his medical career. The same year he received the MB degree from Cambridge, and five years later, the degree of MD.

It was during this period that Young conducted his now-famous experimental investigations on light. In 1800 he published his *Experiments on Sound and Light* in the *Philosophical Transactions of the Royal Society* and presented a detailed account of his theory of interference in the Bakerian Lecture *On the Theory of Light and Colors* in 1801 [2]. In another Bakerian Lecture in 1803 entitled *Experiments and Calculations Relative to Physical Optics* he summarized his observations on interference and added several new phenomena. The importance of his work was not apparent to his contemporaries and his principle of interference remained more or less obscure for another fourteen years, when it was 'rediscovered' by Fresnel. Young made other significant contributions to physical optics in the areas of double refraction and dispersion.

As I mentioned previously, Young's interests were many and diverse. For example, he was the first to assign the term *energy* to the quantity mv^2 and to put *work done*, which he defined as (*force x distance*), proportional to *energy*. Also he introduced absolute methods for determining the elastic properties of materials - such as the *Young's modulus* that relates the increase in length of a wire to the force applied - and he developed the most comprehensive theory of tides then available. His contributions to archeology and philology were equally impressive as were his researches in medicine. He could make himself welcome in almost any scholarly activity and welcome the challenge it offered. He retired from active medical practice in 1814 to devote himself full-time to his scientific studies, continuing to his death in 1829. A colleague at the Royal Institution [3] said of him:

"... Had he limited himself to any one department of knowledge, he must have been the first in that department. But as a mathematician, a scholar, a hieroglyphist, he was eminent, and he knew so much that it was difficult to say what he did not know."

He described his discoveries on the interference of light in the Bakerian Lecture (November 24, 1803), in the *Philosophical Transactions of the Royal Society*, **94**, (1804), and from lecture 39 of his Course of Lectures. In these works Young describes his experiments on *diffraction*, or the bending of light, and the formation of light and dark fringes from narrow slits. However, he is arguably best remembered for his 'classic' *double-slit experiment* that seemed to establish, without question, that light is a wave motion. He showed that light and dark fringes could be produced on a screen some distance from a pair of very closely spaced, narrow slits and were due to constructive and destructive interference of different rays. He also described a possible application; the diffraction grating that is very much in current use for selecting monochromatic, i.e., single wavelength, light, viz:

"These colors may be easily seen, in an irregular form, by looking at any metal, coarsely

polished, in the sunshine; but they become more distinct and conspicuous, when a number of fine lines of equal strength are drawn parallel to each other, so as to conspire in their effects."

He explained the formation of colored bands in soap films:

"Thus, when a film of soapy water is stretched over a wine glass, and placed in a vertical position, its upper edge becomes extremely thin, and appears nearly black, while the parts below are divided by horizontal lines into a series of colored bands ... "

and Newton's rings:

"... and when two glasses, one of which is slightly convex, are pressed together with some force, the plate of air between them exhibits the appearance of colored rings, beginning from a black spot at the center, and becoming narrower and narrower, as the curved figure of the glass causes the thickness of the plate of air to increase more and more rapidly. ... "

establishing that there is a 180° change of phase when light is reflected from the surface of a denser medium, e.g., light traveling in air reflecting from the surface of glass or metal.

It appears that Thomas Young's demonstration of the interference of light made little impression when he announced it in 1803. It took another decade of skillful studies and experiments by Augustin Fresnel (1788-1827) to convince even the staunchest of Newton's supporters that light was a wave motion.

FOOTNOTES

[1] Have you wondered how it is possible that you can hear a sound that was made round the corner of a building or behind a tree? The only explanation is that sound waves are 'bent' around objects.

[2] Young published most of his results in his *Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*, 1807.

[3] Sir Humphrey Davy (1778-1829).

REFERENCES

Books

M. Shamos *Great Experiments in Physics* (Dover Publications Inc., New York, 1987).

[Accueil](#) |
[Modifications récentes](#) |
[Modifier cette page](#) |
[Historique](#)
[Version imprimable](#)

Not logged in
[Identification](#) | [Aide](#)

Autres langues: [English](#) | [Nederlands](#)

Jean Bernard Léon Foucault

(Redirigé depuis [Léon Foucault](#))

Jean Bernard Léon Foucault est un [physicien](#) et [astronome](#) français, il est né à [Paris](#) le [18 septembre 1819](#) et mort à Paris le [11 février 1868](#).

Jean Bernard Léon Foucault était le fils d'un éditeur de [Paris](#). Il étudia la [médecine](#) qu'il abandonna rapidement pour se consacrer à la [physique](#). Il porta son attention aux méthodes [photographiques](#) de [Daguerre](#).

Particulièrement connu pour son expérience démontrant l'effet de la rotation de la [Terre](#) autour de son axe ([pendule de Foucault](#)), il détermina aussi la [vitesse de la lumière](#) et inventa le [gyroscope](#).

[Modifier cette page](#) | [Page de discussion](#) | [Historique](#) | [Pages liées](#) | [Suivi des liens](#)

Autres langues: [English](#) | [Nederlands](#)

[Accueil](#) | [À propos de Wikipédia](#) | [Modifications récentes](#) |

Dernière modification de cette page : 1 nov 2003 à 16:03. Tous les textes sont disponibles sous les termes de la [Licence de documentation libre GNU](#).

[Accueil]

[Accueil](#)
[Modifications récentes](#)
[Une page au hasard](#)
[Actualités](#)

[Modifier cette page](#)

[Page de discussion](#)

[Historique](#)

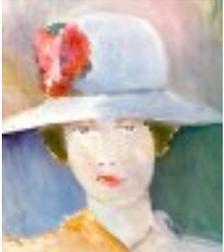
[Pages liées](#)

[Suivi des liens](#)

[Pages spéciales](#)

[Rapport d'erreurs](#)

[Participer en faisant un don](#)

física.ufc**Apostilas eletrônicas
de Dona Fifi**

Dona Fifi aos 19 anos.



Dona Fifi (Maria Efigênia Gomes de Alencar), filha de rica família de Sobral, foi mandada à Viena, no comecinho da década de 30, para estudar piano com um famoso maestro. Quiz o destino, porém, que ela conhecesse e se enamorasse de um certo Max, físico e boêmio de prestígio na cidade. O romance não prosperou, mas, D. Fifi tomou gosto pela ciência e acompanhou, *in loco*, o desabrochar da Mecânica Quântica na Europa. Voltou ao Brasil às vésperas da Segunda Guerra, casou, enviuvou, e tem nove filhos, vinte e dois netos e oito bisnetos, até agora. Mas, nunca perdeu o interesse pela ciência e, durante muitos anos, manteve uma intensa correspondência com alguns caras que conheceu nessa época. Com o tempo, esses correspondentes foram desaparecendo, infelizmente.



Algumas das pessoas nessa foto foram correspondentes de Dona Fifi

No final do ano passado, pedimos que ela escrevesse algo para nossas páginas, talvez alguma reminiscência de seus tempos na Europa. Para nossa surpresa, ela passou a nos mandar, regularmente, cadernos escritos com sua caligrafia impecável, contendo os textos dessas apostilas que agora começamos a publicar. Nosso primeiro impulso foi escanear diretamente os escritos de Dona Fifi e lançá-los sem nenhuma revisão. Entretanto, fomos obrigados a mudar de idéia por uma razão inesperada. O texto da querida mestra veio recheado de incontáveis palavrões que poderiam escandalizar alguns leitores mais pudicos. Decidimos censurar os termos mais cabeludos, deixando um ou outro para manter o espírito da autora.

[**Apostilas sobre Calor e Temperatura.**](#)

[**Apostilas sobre Marie Curie, Lise Meitner e a Radioatividade.**](#)

[**Apostilas sobre Datação Isotópica.**](#)

[**Apostilas sobre a Origem dos Elementos.**](#)

[**Apostilas sobre 100 Anos de Prêmio Nobel de Física.**](#)

[**Apostilas sobre os nêutrons.**](#)

[**Apostilas sobre os neutrinos.**](#)

[**Apostilas sobre a entropia.**](#)

Sempre que possível, estaremos trazendo novas apostilas de Dona Fifi. Fique ligado.

[Página Inicial](#)

[CORREIO](#)