

**MUSEU DE TOPOGRAFIA PROF. LAUREANO IBRAHIM CHAFFE  
DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA - UFRGS**

## **ANO INTERNACIONAL DA LUZ - 2015**

Texto original: **Wikipédia, a enciclopédia livre.**

**Janeiro/2015**

Ampliação e ilustrações: **Iran Carlos Stalliviere Corrêa-IG/UFRGS**



*Logotipo do Ano Internacional da Luz.*

O **Ano Internacional da Luz** será celebrado em 2015 por decisão da Assembleia Geral das Nações Unidas em reconhecimento à importância das tecnologias associadas à luz na promoção do desenvolvimento sustentável e na busca de soluções para os desafios globais nos campos da energia, educação, agricultura e saúde.

## **Histórico**

A resolução publicada pela Assembleia Geral das Nações Unidas aponta que o ano de 2015 coincide com a comemoração de alguns marcos importantes relacionados à luz ao longo da história da ciência:

1. os trabalhos em óptica de **Ibn Al-Haytham** em 1015;
2. o comportamento ondulatório da luz, proposto por **Fresnel** em 1815;
3. a teoria eletromagnética da luz, proposta por **Maxwell** em 1865;
4. os trabalhos de **Einstein** sobre o efeito fotoelétrico (1905) e sobre o vínculo entre a luz e a cosmologia no contexto da Relatividade geral (1915);
5. a descoberta da radiação cósmica de fundo em micro-ondas por **Penzias e Wilson** em 1965 e
6. os trabalhos de **Charles Kao** (1965) a respeito do uso de fibras ópticas nas comunicações.

Ao fazer a declaração formal do ano internacional, a Assembleia Geral das Nações Unidas convidou a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura a facilitar a implementação do evento em colaboração com os governos nacionais, os organismos internacionais e as organizações não-governamentais.

## **Eventos Importantes**

### **1. Os trabalhos em óptica de Ibn Al-Haytham em 1015;**

**Al Hasan Ibn Al-Haytham** foi um polímata de Basra a partir do século 10 (no atual Iraque), sendo muitas vezes referido como o “pai da óptica moderna”. Ele passou grande parte de sua vida no Egito,

incluindo uma década sob prisão domiciliar, que foi quando escreveu sua obra mais célebre, **Kitab al-Manazir** (The Book of Optics).

Diferentes pontos de vista sobre a forma como o processo de visão pode ser explicado, já estavam em circulação há séculos. Alguns imaginavam que raios saíssem dos olhos, enquanto outros pensavam que algo entrava nos olhos para representar um objeto. **Ibn Al-Haytham** rompeu com essas ideias sobre a visão e demonstrou experimentalmente que a luz tinha um papel crucial e independente, no processo visual. Ele usou o que agora é comumente referido como uma câmara escura para demonstrar e verificar suas ideias.

**Ibn Al-Haytham** fez avanços significativos em óptica, matemática e astronomia, e ajudou a lançar as bases do método experimental científico. **Ibn Al-Haytham** escreveu cerca de 96 livros, embora apenas 55 sobreviveram. Traduções de suas obras são conhecidas por ter influenciado muitos pensadores renascentistas, como Roger Bacon, Christiaan Huygens e René Descartes. Ele era conhecido no Ocidente como "**Alhazen**", e a cratera Alhazen na Lua é denominada em sua honra, como é o asteroide 59239 Alhazen.



*Busto de Ibn al-Haytham, elaborado pelo artista Ali Amro e comissionados por 1001 Invenções para o Ano Internacional da Luz 2015 UNESCO*

## 2. O comportamento ondulatório da luz, proposto por Fresnel em 1815;



*Augustin-Jean Fresnel*

**Augustin-Jean Fresnel** (1788-1827) era um francês engenheiro e físico que contribuíram de forma significativa para o estabelecimento da teoria da óptica ondulatória. **Fresnel** estudou o comportamento da luz teórica e experimentalmente.

Ele é talvez mais conhecido como o inventor da **lente Fresnel**, adotada pela primeira vez em faróis, quanto ele era ainda um comissário francês de faróis, e em muitas aplicações de hoje em dia. Suas equações de **Fresnel** sobre ondas e refletividade também formam a base para muitas aplicações em computação gráfica.

### ***Vida pessoal e educação***

**Fresnel** era o filho de um arquiteto, nascido em Broglie (Eure). Seu progresso precoce na aprendizagem era lento, e ele ainda não sabia ler quando tinha oito anos de idade. Aos treze anos ele entrou na *École Centrale* em Caen-França, e aos dezesseis anos e meio, na *École Polytechnique*, onde ele se saiu com distinção. De lá, ele foi para a *École des Ponts et Chaussées*.

Ele recebeu apenas o reconhecimento público durante a sua vida por seu trabalho na causa da ciência óptica. Alguns de seus trabalhos não foram impressos pela **Académie des Sciences** até muitos anos após sua morte. Mas, como ele escreveu em 1824: "Todos os elogios", diz ele, "que eu recebi de Arago, Laplace e Biot nunca me deu tanto prazer como a descoberta de uma verdade teórica, ou a confirmação de um cálculo por meio de experiências".

Ele passou grande parte de sua vida em Paris, e morreu de tuberculose em Ville-d'Avray, perto de Paris. O seu nome é um dos 72 nomes inscritos na Torre Eiffel.

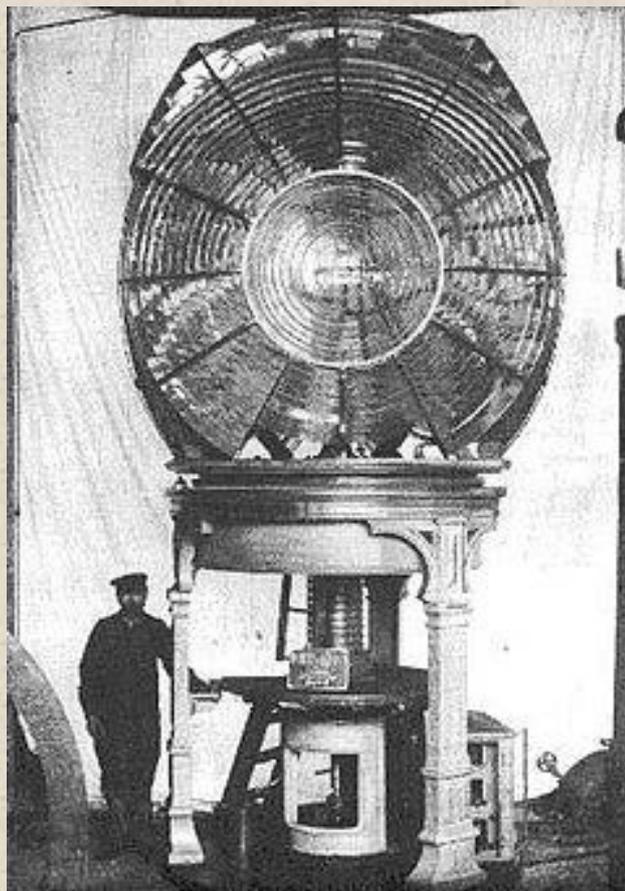
### **Carreira**

Ele atuou como engenheiro sucessivamente nos departamentos de Vendée, Drôme e Ille-et-Vilaine; mas por ter apoiado os Bourbons em 1814 ele perdeu a sua nomeação no retorno de Napoleão ao poder. Ele parece ter começado suas pesquisas em óptica em torno de 1814, quando ele preparou um documento sobre a aberração da luz, ainda que nunca fosse publicado. Em 1815, na segunda restauração da monarquia, obteve um cargo de engenheiro em Paris.

Em 1818, ele escreveu um livro de memórias sobre difração, pelo qual recebeu o prêmio da *Académie des Sciences* em Paris, no ano que se seguiu. Ele foi o primeiro a construir um tipo especial de lente, agora chamada **lente de Fresnel**, como um substituto para os espelhos em faróis. Em 1819, ele foi nomeado para ser comissário de faróis. Em 1823 ele foi eleito, por unanimidade, como membro da academia, e em 1825 tornou-se membro da *Royal Society de Londres*. Em 1827, a *Royal Society de Londres* concedeu-lhe a Medalha Rumford.

Suas descobertas e deduções matemáticas, baseadas nos trabalhos experimentais de Thomas Young, estendeu a teoria da onda

de luz para uma grande classe de fenômenos ópticos, especialmente, para a dupla refração, propriedade da *Islândia Spar*, ou calcita. Em 1817, havia proposto um pequeno componente transversal à luz, enquanto ainda mantendo um componente longitudinal muito maior. **Fresnel**, até o ano de 1821, foi capaz de mostrar através de métodos matemáticos que a polarização pode ser explicada apenas se a luz for totalmente transversal, sem vibração longitudinal qualquer.

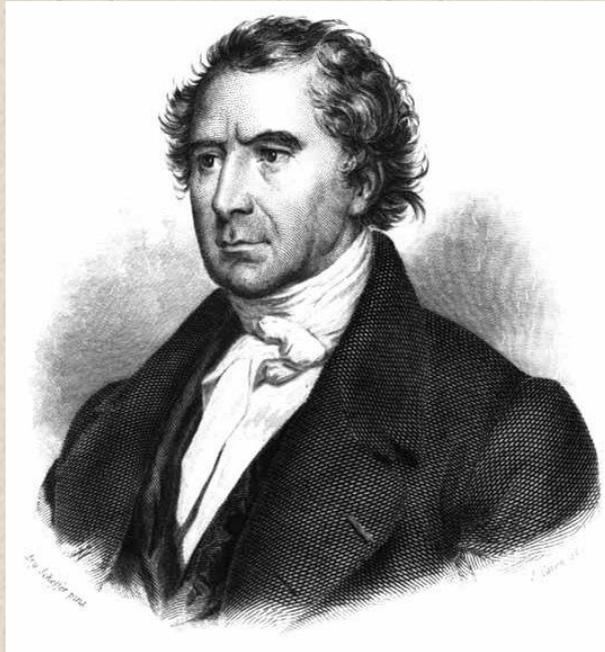


*Lente de Fresnel de 1ª Ordem do Farol de Kullens, Suécia*

O uso de dois espelhos planos de metal, que formam entre si um ângulo de quase  $180^\circ$ , permitiu a que eles evitassem os efeitos de difração causados (pelas aberturas) no experimento de FM Grimaldi em interferência. Isso lhe permitiu conclusivamente explicar o fenômeno da interferência de acordo com a teoria das ondas.

Com **François Arago**, ele estudou as leis da interferência dos raios polarizados. Obteve luz polarizada circularmente por meio de um losango de vidro, conhecido como o losango de Fresnel, tendo ângulos

obtusos de  $126^\circ$  e ângulos agudos de  $54^\circ$ . As leis de **Fresnel-Arago** são três leis que resumem algumas das propriedades mais importantes de interferência entre a luz de diferentes estados de polarização.



*François Arago*

As **equações de Fresnel** descrever o comportamento da luz quando se deslocam entre meios de diferentes índices de refração. Quando a luz se move a partir de uma forma de um determinado índice de refração  $n_1$  para um segundo meio, com índice de refração  $n_2$ , ambos reflexão e refração da luz podem ocorrer.

A **difração de Fresnel** é uma aproximação de **difração de Kirchhoff-Fresnel** que pode ser aplicada para a propagação das ondas no campo próximo. É usada para calcular o padrão de difração criada pelas ondas que passam através de uma abertura ou em torno de um objeto, quando visto relativamente perto do objeto. Em contraste, o padrão de difração no campo distante é dado pela difração de **Fraunhofer**.

### 3. A teoria eletromagnética da luz, proposta por Maxwell em 1865;



*James Clerk Maxwell*

**James Clerk Maxwell** (Edimburgo, 13 de junho de 1831 — Cambridge, 5 de novembro de 1879) foi um físico e matemático britânico. É mais conhecido por ter dado forma final à teoria moderna do eletromagnetismo, que une a eletricidade, o magnetismo e a óptica. Esta é a teoria que surge das **equações de Maxwell**, assim chamadas em sua honra e porque foi o primeiro a escrevê-las juntando a lei de Ampère, modificada por Maxwell, a lei de Gauss, e a lei da indução de Faraday. **Maxwell** demonstrou que os campos elétricos e magnéticos se propagam com a velocidade da luz. Ele apresentou uma teoria detalhada da luz como um efeito electromagnético, isto é, que a luz corresponde à propagação de ondas elétricas e magnéticas, hipótese que tinha sido proposta por Faraday. Foi demonstrado em 1864 que as forças elétricas e magnéticas têm a mesma natureza: uma força elétrica em determinado referencial pode tornar-se magnética se analisada em outra, e vice-versa. Ele também desenvolveu um trabalho importante em mecânica estatística, estudou a teoria cinética dos gases e descobriu a distribuição de **Maxwell-Boltzmann**. Seu trabalho em

eletromagnetismo foi a base da relatividade restrita de Einstein e o seu trabalho em teoria cinética de gases fundamental ao desenvolvimento posterior da mecânica quântica.

## **Importância**

**Maxwell** é geralmente lembrado como o cientista do século 19 a ter mais influência sobre a física do século 20. Responsável por contribuições básicas nos modelos naturais, sendo considerada uma ponte entre a matemática e a física. Poucos anos após a morte de **James Clerk Maxwell** seus trabalhos científicos foram aceitos mundialmente a partir de suas explorações sobre eletromagnetismo.

Em 1931, comemorando o centenário do nascimento de **Maxwell**, descrevendo seu trabalho Albert Einstein disse "o mais profundo e frutífero que a física descobriu desde Newton".

## **Vida**

### **Primeiros anos**

**James Clerk Maxwell** nasceu em 13 de junho de 1831 na Rua India, 14, em Edimburgo, filho de John Clerk Maxwell, um advogado, e Frances Maxwell. O pai de **Maxwell** era um homem com confortáveis meios financeiros, aparentado com a família Clerk de Penicuik, Midlothian, os titulares do baronato de Clerk de Penicuik, sendo seu irmão o sexto barão. Nasceria John Clerk, adicionando o sobrenome Maxwell ao seu próprio depois de ter herdado uma propriedade rural em Middlebie, Kirkcudbrightshire, a partir das conexões com a família de Maxwell, eles próprios membros do pariato.

Aos 10 anos de idade, **Maxwell** foi para escola em Edimburgo. **Maxwell** publicou seu primeiro artigo aos quatorze anos. Esse trabalho foi incentivado pela necessidade do artista e decorador D. R. Hay de

construir uma figura oval "perfeita" (artística e matematicamente). Nessa época, **Maxwell** redescobriu as ovais de Descartes. Elas já tinham sido estudadas anteriormente por Descartes, mas **Maxwell** também as generalizou para mais de dois focos. Desconhecendo o trabalho de Descartes, a originalidade do trabalho de **Maxwell** foi a forma simples apresentada por ele para resolver o problema de desenhá-las, e a definição de uma classe mais geral de curvas (que agora são por vezes chamadas de "*curvas de Maxwell*"). Três dos quatro artigos seguintes foram sobre geometria. *On the Theory of Rolling Curves* (Sobre a teoria das curvas rolantes), de 1848, estuda a geometria diferencial de curvas geradas como a cicloide, com uma figura rolando sobre outra. O artigo de 1853 foi uma curta investigação sobre óptica geométrica, e este trabalho levou à descoberta da lente "olho-de-peixe". O terceiro trabalho dessa época, *Transformation of Surfaces by Bending* (Transformações de superfícies por flexão), ampliação de um trabalho iniciado por Gauss. O único artigo desse período a abordar apenas física foi *On the Equilibrium of Elastic Solids* (Sobre o equilíbrio de sólidos elásticos), escrito em 1850, pouco antes da ida para Cambridge.

Em 1847 matriculou-se na universidade de Edimburgo, pensando que aí teria mais possibilidade de vir a ser cientista do que em uma universidade mais prestigiosa, como por exemplo, Cambridge onde também foi aceito. Na universidade de Edimburgo, graduou-se em Filosofia Natural (como era nessa época denominada a Física), Filosofia Moral e Filosofia Mental. Em 1850 foi estudar matemática na Universidade de Cambridge, mais precisamente no Trinity College. É nesta época que Maxwell inicia o seu estudo das **equações de eletromagnetismo**, que continuaria praticamente toda a sua vida. Em 1854, graduou-se, entre os melhores estudantes do seu ano, e

imediatamente depois apresenta um brilhante artigo à *Sociedade Filosófica de Cambridge* com o título *On the Transformation of Surfaces by Bending*, um dos poucos artigos puramente matemáticos que escreveu.

### **Vida adulta**



*James e Katherine Maxwell em 1869.*

Em 1856 **Maxwell** se tornou professor em Aberdeen, e casa-se aos 27 anos com Katherine Mary Dewar, com quem nunca teve filhos. De 1855 a 1872 publicou com intervalos uma série de investigações sobre a percepção da cor e o daltonismo pela qual receberia a *medalha Rumford da Royal Society* em 1860. Em 1859 recebeu o prémio Adams por um artigo sobre a estabilidade dos anéis de Saturno, em que demonstra que estes não podem ser completamente sólidos nem fluidos. A estabilidade destes anéis implica que eles têm de ser constituídos por numerosas pequenas partículas sólidas. Do mesmo modo provou que o sistema solar não podia ser formado pela condensação de uma nébula puramente gasosa, mas que esta nébula tinha que conter também pequenas partículas sólidas. Foi também nesta época que **Maxwell** fez os seus trabalhos mais importantes em física estatística, tendo generalizado o trabalho iniciado por Clausius em

que este punha a hipótese de que um gás era formado por moléculas que se movem a uma certa velocidade e que vão mudando de velocidade ao chocar entre si. **Maxwell** considerou que as partículas se tinham que mover a diferentes velocidades e estudou a distribuição da velocidade destas. Em 1868 a continuação deste trabalho feita por Boltzmann daria origem à chamada distribuição de **Maxwell-Boltzmann** e ao campo da mecânica estatística.

Em 1860 foi nomeado professor no *King's College* de Londres e em 1861 foi eleito membro da *Royal Society*. Durante este período investigou temas em elasticidade e em geometria pura, mas também prosseguiu os seus estudos em visão e óptica, tendo, por exemplo, demonstrado que se pode produzir uma fotografia a cores utilizando filtros vermelho, verde e azul e sobrepondo as três imagens assim obtidas (ver abaixo imagem da primeira fotografia a cores na história, obtida por este método).



*A primeira fotografia colorida, feita por Maxwell, em 1861.*

Após a morte de seu pai, em 1865, **Maxwell** se aposentou para cuidar das terras da família. Nesta época faz importantes contribuições à física experimental, realizando com a sua esposa uma série de

experiências sobre a viscosidade dos gases, em que demonstraram, por exemplo, que a viscosidade de um gás é independente da sua densidade.

**Maxwell** tinha como hábito trabalhar ao mesmo tempo em vários assuntos, com intervalos longos entre artigos sucessivos no mesmo campo. Por exemplo, seis anos se passaram entre o primeiro e o segundo de seus artigos sobre eletricidade (1855, 1861), doze anos entre o segundo e o terceiro artigos mais notáveis sobre teoria cinética (1867, 1879).

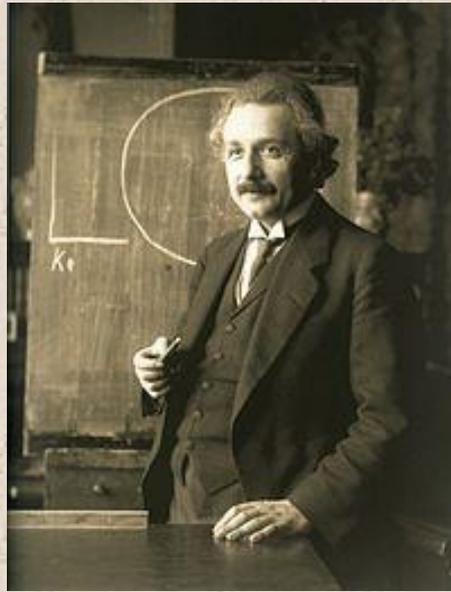
### Últimos anos

Em 1870 publicou o livro "A teoria do calor", que dá forma final à termodinâmica moderna e será enormemente influente na física do século XX, e em 1871 inventou o conceito de **Demônio de Maxwell**, para demonstrar que a segunda lei da termodinâmica, que diz que a entropia nunca decresce, tem um carácter estatístico. Neste ano ainda aceita dirigir o novo Laboratório Cavendish, em Cambridge. Ele mesmo supervisionou a construção do edifício e a compra de todos os aparelhos científicos. Professor Cavendish de Física, de 1871 a 1879, tinha acabado de estabelecer o laboratório como centro de excelência científica quando morreu. Durante este período, **Maxwell** preparou zelosamente a publicação das investigações completas de Henry Cavendish, incluindo os seus estudos de electricidade, o que viria a ser a sua última importante contribuição para a ciência.

Em 1873 **Maxwell** publicou o *Tratado sobre Electricidade e Magnetismo*, livro que continha todas as suas ideias sobre este tema e que condensa todo o trabalho que foi fazendo ao longo dos anos. Ele estava preparando uma revisão abrangente deste tratado com as suas novas descobertas neste tema quando morreu em Cambridge

prematuramente de cancro do abdómen. Foi enterrado em Parton Kirk, na Escócia.

#### 4. Os trabalhos de Einstein sobre o efeito fotoelétrico (1905) e sobre o vínculo entre a luz e a cosmologia no contexto da Relatividade geral (1915);



*Albert Einstein, em 1921*

**Albert Einstein** (Ulm, 14 de março de 1879 — Princeton, 18 de abril de 1955) foi um físico teórico alemão, radicado nos Estados Unidos a partir de 1933, que desenvolveu a teoria da relatividade geral, um dos dois pilares da física moderna (ao lado da mecânica quântica). Embora mais conhecido por sua fórmula de equivalência massa-energia,  **$E=mc^2$**  (que foi chamada de "a equação mais famosa do mundo"), foi laureado com o Prêmio Nobel de Física de 1921 "por suas contribuições à física teórica e, especialmente, por sua descoberta da lei do efeito fotoelétrico", que foi fundamental no estabelecimento da teoria quântica.

No início de sua carreira, **Einstein** acreditava que a mecânica newtoniana não era mais suficiente para reconciliar as leis da mecânica clássica com as leis do campo eletromagnético. Isto o levou ao

desenvolvimento da teoria da relatividade especial. **Einstein** percebeu, no entanto, que o princípio da relatividade também poderia ser estendido para campos gravitacionais, e com a sua posterior teoria da gravitação, de 1916, publicou um artigo sobre a teoria da relatividade geral. Continuou a lidar com problemas da mecânica estatística e teoria quântica, o que levou às suas explicações sobre a teoria das partículas e o movimento browniano. Também investigou as propriedades **térmicas da luz**, o que lançou as bases da teoria dos **fótons da luz**. Em 1917, aplicou a teoria da relatividade geral para modelar a estrutura do universo como um todo.

**Einstein** estava nos Estados Unidos quando Adolf Hitler chegou ao poder na Alemanha, em 1933, e não voltou para a Alemanha, onde tinha sido professor da Academia de Ciências de Berlim. Estabeleceu-se então nos Estados Unidos, onde se naturalizou em 1940. Na véspera da Segunda Guerra Mundial, ajudou a alertar o presidente Franklin D. Roosevelt que a Alemanha poderia estar desenvolvendo uma arma atômica, recomendando aos Estados Unidos começar uma pesquisa semelhante, o que levou ao que se tornaria o **Projeto Manhattan**. **Einstein** apoiou as forças aliadas, denunciando, no entanto, a utilização da fissão nuclear como uma arma. Mais tarde, com o filósofo britânico Bertrand Russell, assinou o Manifesto Russell-Einstein, que destacou o perigo das armas nucleares. **Einstein** foi afiliado ao Instituto de Estudos Avançados de Princeton até sua morte em 1955.

Realizou diversas viagens ao redor do mundo, deu palestras públicas em conceituadas universidades e conheceu personalidades célebres de sua época, tanto na física quanto fora do mundo acadêmico. Publicou mais de 300 trabalhos científicos, juntamente com mais de 150 obras não científicas. Suas grandes conquistas intelectuais e originalidade fizeram da palavra "**Einstein**" sinônimo de gênio. Cem

físicos renomados elegeram-no, em 1999, o mais memorável físico de todos os tempos.

### **Flutuações termodinâmicas e física estatística**

O primeiro trabalho de **Einstein**, publicado em 1900 no *Annalen der Physik*, versou sobre a atração capilar. Ele foi publicado em 1901 com o título "*Folgerungen aus den Kapillarität Erscheinungen*", que se traduz como "Conclusões sobre os fenômenos de capilaridade". Dois artigos que publicou em 1902-1903 (termodinâmica) tentaram interpretar fenômenos atômicos a partir de um ponto de vista estatístico. Estas publicações foram a base para o artigo de 1905 sobre o movimento browniano, que mostrou que ele pode ser interpretado como evidência sólida da existência das moléculas. Sua pesquisa em 1903 e 1904 estava centrada principalmente sobre o efeito do tamanho atômico finito em fenômenos de difusão.

### **Princípios gerais**

Ele articulou o princípio da relatividade. Isto foi entendido por Hermann Minkowski ser uma generalização da invariância rotacional, do espaço para o espaço-tempo. Outros princípios postulados por Einstein e mais tarde provados são o princípio da equivalência e o princípio da invariância adiabática do número quântico.

### **Teoria da relatividade, $E = mc^2$ , e a bomba atômica**

O artigo "Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento" de **Einstein** ("*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*") foi recebido em 30 de junho de 1905 e publicado em 26 de setembro daquele mesmo ano. Ela concilia as equações de Maxwell para a eletricidade e o magnetismo com as leis da mecânica, através da introdução de grandes mudanças

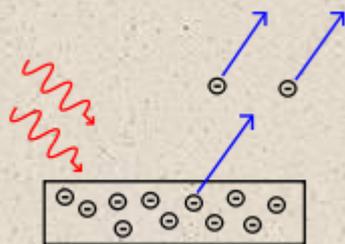
para a mecânica perto da velocidade da luz. Isto mais tarde se tornou conhecido como a teoria da relatividade especial de Einstein. As consequências disto incluem o intervalo de espaço-tempo de um corpo em movimento, que parece reduzir de velocidade e se contrair (na direção do movimento), quando medido no plano do observador. Este documento também argumentou que a ideia de um éter luminífero — uma das entidades teóricas líderes da física na época — era supérflua. Em seu artigo sobre *equivalência massa-energia*, **Einstein** produziu  $E = mc^2$  de sua equação da relatividade especial. O trabalho de **Einstein** de 1905 sobre a relatividade permaneceu controverso por muitos anos, mas foi aceito pelos principais físicos, começando com Max Planck.

**Einstein** não participou diretamente na invenção da bomba atômica, mas sua teoria foi fundamental no sentido de facilitar o seu desenvolvimento. Em 1905, como parte de sua teoria da relatividade restrita, mostrou que uma grande quantidade de energia poderia ser liberada a partir de uma pequena quantidade de matéria. Isto foi expresso pela equação  $E=mc^2$  (energia = massa vezes a velocidade da luz ao quadrado). A bomba atômica, assim como aceleradores de partículas, ilustram claramente este princípio. Porém as bombas não eram o que **Einstein** tinha em mente quando publicou esta equação. Na verdade, ele se considerava um pacifista. Em 1929 declarou que, se a guerra eclodisse: incondicionalmente se recusaria a fazer o serviço militar, direta ou indiretamente ... independentemente de como as causas da guerra deveriam ser julgadas.

Sua posição mudaria em 1933, como resultado da ascensão de Adolf Hitler ao poder na Alemanha. O maior papel de Einstein na invenção da bomba atômica foi a assinatura de uma carta ao então presidente americano Franklin Roosevelt, pedindo que a bomba fosse

construída. A divisão do átomo de urânio na Alemanha, por Otto Hahn em dezembro de 1938, mais a continuada agressão alemã, levou alguns físicos a temerem que a Alemanha pudesse estar trabalhando em uma bomba atômica. Entre os interessados estavam os físicos Leó Szilard e Eugene Wigner. Após consulta com **Einstein**, em agosto de 1939, Szilard escreveu uma carta ao presidente Roosevelt com a assinatura de **Einstein**. A carta foi entregue a Roosevelt em outubro de 1939 por Alexander Sachs, um amigo do presidente. A Alemanha invadiu a Polônia no mês anterior, sendo o momento propício para a ação. Naquele mês de outubro a Comissão de Briggs foi nomeada para estudar reações em cadeia de urânio. Um grupo liderado por Enrico Fermi havia descoberto tal reação, porém a pedido do próprio Fermi os resultados não foram divulgados na imprensa. O trabalho de **Einstein** relacionado com a bomba atômica foi muito limitado. Vannevar Bush, que estava coordenando o trabalho científico sobre a bomba naquela época, pediu o conselho de **Einstein** em um problema teórico envolvido na separação de material físsil por difusão gasosa. Mas Bush e outros líderes do projeto Manhattan excluíram **Einstein** de qualquer outro trabalho relacionado com a bomba. Bush não confiava que **Einstein** manteria o projeto em segredo: Eu não tenho muita certeza ... Einstein iria discutir isso de uma maneira que não deve ser discutida.

### **Fótons e quantum de energia**



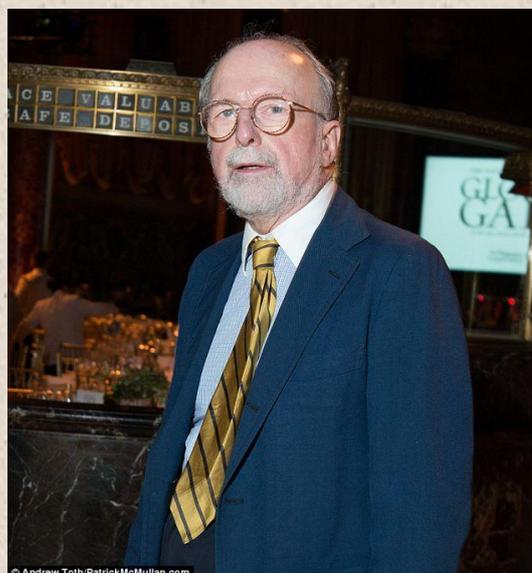
O efeito **fotoelétrico**. Fótons chegando à esquerda se chocam com uma placa de metal e ejetam elétrons, mostrados como partindo à direita.

Em um artigo de 1905, **Einstein** postulou que a **luz** em si consiste de partículas localizadas (*quanta*). Os **quanta de luz** de Einstein foram quase universalmente rejeitados por todos os físicos, incluindo Max Planck e Niels Bohr. Essa ideia só se tornou universalmente aceita em 1919, com os experimentos detalhados de Robert Millikan sobre o efeito fotoelétrico, e com a medida de espalhamento Compton. **Einstein** concluiu que cada onda de frequência  $f$  é associada com um conjunto de fótons com uma energia  $hf$  cada, em que  $h$  é a constante de Planck. Ele não diz muito mais, porque não tinha certeza de como as partículas estão relacionadas com a onda. Mas ele sugere que essa ideia poderia explicar alguns resultados experimentais, especialmente o efeito fotoelétrico.

## 5. A descoberta da radiação cósmica de fundo em micro-ondas por Penzias e Wilson em 1965



*Arno Allan Penzias*



*Robert Woodrow Wilson*

**Arno Allan Penzias** (Munique, 26 de abril de 1933) é um físico estadunidense. Foi laureado com o Nobel de Física de 1978, pela descoberta da **radiação cósmica de fundo em micro-ondas**

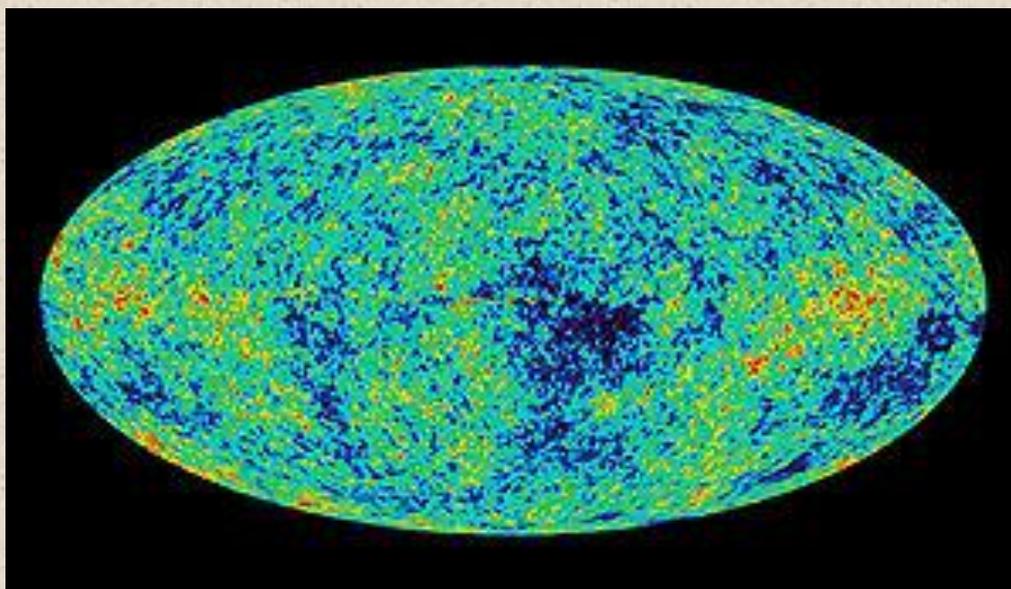
juntamente com **Robert Woodrow Wilson**. Essa descoberta forneceu uma das principais evidências sobre as quais se apoia o modelo cosmológico padrão, também conhecida como "Modelo do Big Bang".

## **RADIAÇÃO CÓSMICA DE FUNDO EM MICRO-ONDAS**

Em Cosmologia, a **radiação cósmica de fundo em micro-ondas** é uma forma de radiação eletromagnética, cuja existência foi prevista teoricamente por George Gamov, Ralph Alpher e Robert Herman em 1948, e que foi descoberta experimentalmente em 1965 por **Arno Penzias e Robert Woodrow Wilson**. Ela se caracteriza por apresentar um espectro térmico de corpo negro com intensidade máxima na faixa de micro-ondas.

A **radiação cósmica de fundo em micro-ondas** é ao lado do afastamento das galáxias e da abundância de elementos leves, uma das mais fortes evidências observacionais do modelo do Big Bang, que descreve a evolução do universo. **Penzias e Wilson** receberam o Nobel de Física em 1978 por essa descoberta.

### **Características**



*Imagem WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) da anisotropia da radiação cósmica de fundo em micro-ondas. (Março de 2006)*

A **radiação cósmica de fundo em micro-ondas** é uma radiação eletromagnética que preenche todo o universo, cujo espectro é o de um corpo negro a uma temperatura de 2,725 kelvin. Ela tem uma frequência de pico de 160,4 GHz, o que corresponde a um comprimento de onda de 1,9 mm. Ela é isotrópica até uma parte em 100 000: as variações de seu valor eficaz são de somente 18  $\mu$ K. O *Far-Infrared Absolute Spectrophotometer* (FIRAS), um instrumento no satélite COsmic Background Explorer (COBE) da NASA, mediu cuidadosamente o espectro da radiação cósmica de fundo, o que o tornou a medida mais precisa de um espectro de corpo negro de todos os tempos.

O ruído provocado por essa radiação está presente em cerca de 1% no funcionamento dos nossos aparelhos elétricos. Este ruído pode ser compreendido como um "fóssil" de uma época em que o universo era muito novo.

A **radiação cósmica de fundo em micro-ondas** é uma predição da teoria do Big Bang. Segundo essa teoria, o universo inicial era composto de um plasma quente de fótons, elétrons e bárions. Os fótons interagem constantemente com o plasma através do Efeito Compton. À medida que o universo se expandia, o desvio para o vermelho cosmológico fazia com que o plasma esfriasse até que fosse possível aos elétrons combinarem-se com os núcleos atômicos de hidrogênio e hélio para formarem átomos. Isso aconteceu por volta de 3000 K, ou quando o universo tinha aproximadamente 380 000 anos de idade ( $z=1088$ ). Nesse momento, os fótons puderam começar a viajar livremente pelo espaço. Esse processo é chamado "**recombinação**".

Os fótons continuaram a esfriar desde então, atingindo a temperatura de 2,7 K, e essa temperatura continuará a diminuir enquanto o universo continuar a se expandir. Assim, a radiação do espaço que se mede hoje é oriunda de uma superfície esférica,

chamada superfície de última difusão, que representa a coleção de pontos no espaço (a cerca de 46 bilhões de anos-luz da Terra) na qual ocorreu o processo de recombinação descrito acima, há 13,7 bilhões de anos, e cujos fótons chegam agora na Terra.

A teoria do Big Bang sugere que a **radiação cósmica de fundo** preenche todo o espaço observável, e que a maior parte da energia do universo está na **radiação cósmica de fundo em micro-ondas**, que constitui uma fração de aproximadamente  $5 \times 10^{-5}$  da densidade total do universo.

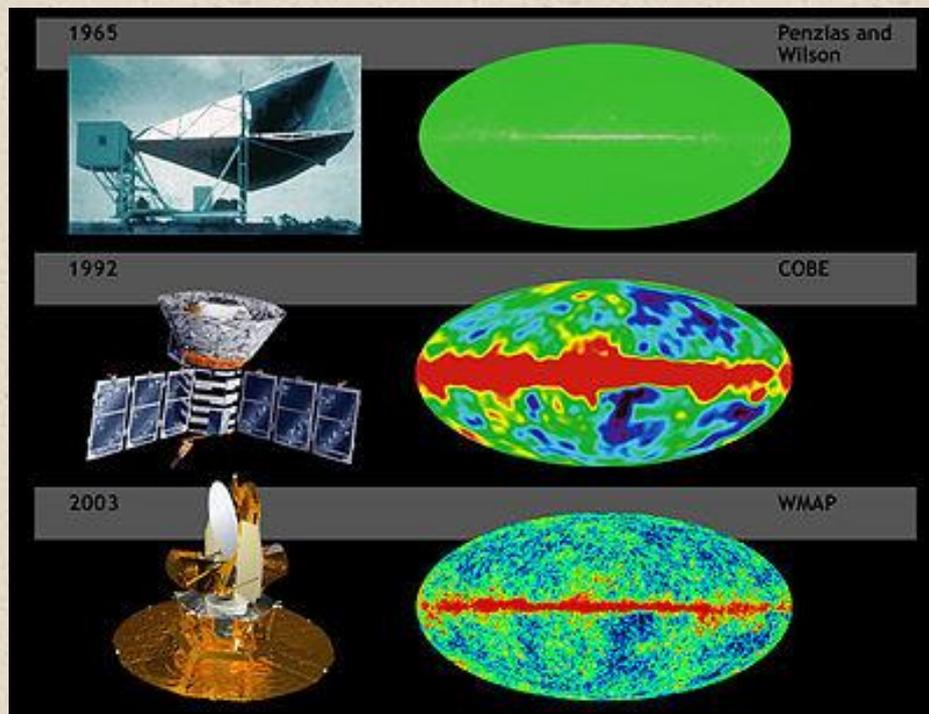
Dois dos maiores sucessos da teoria do Big Bang são suas previsões do seu espectro de corpo negro praticamente perfeito e sua detalhada previsão das anisotropias na **radiação cósmica de fundo em micro-ondas**. A recente sonda Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) mediu com precisão essas anisotropias através de todo o céu até escalas angulares de 0,2 graus. Elas podem ser utilizadas para estimar os parâmetros do modelo padrão Lambda-CDM do Big Bang. Algumas informações como a forma do universo, podem ser obtidas diretamente da radiação cósmica de fundo, enquanto outras, como a constante de Hubble, não são óbvias e precisam ser inferidas de outras medidas.

## **História**

A **radiação cósmica de fundo em micro-ondas** foi prevista por George Gamov, Ralph Alpher e Robert Herman em 1948. Além disso, Alpher e Herman foram capazes de estimar a temperatura dessa radiação como sendo de 5 K. Apesar de que existissem diversas estimativas anteriores da temperatura do espaço, essas sofriam de diversos inconvenientes. Primeiramente, elas eram medidas da temperatura *efetiva* do espaço, e não sugeriam que o espaço fosse

repleto com um espectro de Planck térmico; segundo, elas eram dependentes da nossa posição específica na beira da Via Láctea e não sugeriam que a radiação fosse isotrópica. Além disso, elas levariam a previsões completamente diferentes se a Terra estivesse localizada em outro lugar do Universo.

Os resultados de Gamov não foram amplamente discutidos. No entanto, eles foram redescobertos por Robert Dicke e Yakov Zel'dovich no início da década de 1960. Em 1964, isso incentivou David Todd Wilkinson e Peter Roll, colegas de Dicke na Universidade de Princeton, a começar a construção de um radiômetro Dicke a fim de medir a radiação cósmica de fundo. Em 1965, **Arno Penzias e Robert Woodrow Wilson**, do Bell Telephone Laboratories perto de Holmdel, New Jersey, construíram um radiômetro Dicke que pretendiam utilizar para experiências de radioastronomia e comunicação via satélite. O instrumento deles tinha um ruído térmico excessivo de 3,5 K que eles não podiam explicar, e após diversos testes **Penzias** se deu finalmente conta que aquele ruído nada mais era do que a radiação prevista por Gamov, Alpher e Herman e mais tarde por Dicke. Após receber um telefonema de Penzias, Dicke disse a famosa frase: "Gente, nos passaram para trás (*Boys, we've been scooped*)". Uma reunião entre as equipes de Princeton e Holmdel determinou que o ruído da antena era devido efetivamente à radiação cósmica de fundo. **Penzias e Wilson** receberam o Prêmio Nobel de Física de 1978 pela descoberta.



*Melhoramentos sucessivos das observações das anisotropias (ou flutuações) da radiação cósmica de fundo em micro-ondas*

A interpretação da **radiação cósmica de fundo em micro-ondas** foi um assunto controverso nos anos 1960, com alguns defensores da teoria do estado estacionário argumentando que a radiação de fundo era o resultado da difusão de luz estelar de outras galáxias. Usando esse modelo, e baseando-se no estudo de características da linha de absorção no espectro de estrelas, o astrônomo Andrew McKellar escreveu em 1941: "Pode-se calcular que a temperatura *rotacional* do espaço interestelar é de 2 K." No entanto, durante a década de 1970, o consenso foi estabelecido que a radiação cósmica de fundo fosse um resquício do Big Bang. Isso ocorreu principalmente porque novas medidas em uma gama de frequências mostraram que o espectro era um espectro térmico, de corpo negro, um resultado que o modelo de estado estacionário foi incapaz de reproduzir.

Harrison, Peebles e Yu, e Zel'dovich deram-se conta que o universo primordial deveria ter heterogeneidades em nível de  $10^{-4}$  ou

$10^{-5}$ . Rashid Sunyaev mais tarde calculou a marca observável que essas heterogeneidades teriam na radiação cósmica de fundo.<sup>15</sup> Limites crescentes na anisotropia da radiação cósmica de fundo foram colocados através de experiências, mas a anisotropia foi detectada pela primeira vez pelo *Differential Microwave Radiometer* (Radiômetro de microondas diferencial) do satélite COBE.

Inspiradas pelos resultados obtidos pelo COBE, uma série de experiências de solo e baseadas em balões mediram as anisotropias da radiação cósmica de fundo em escalas angulares inferiores ao longo da década seguinte. O objetivo principal dessas experiências era medir a escala do primeiro pico acústico, que COBE não tinha resolução suficiente para resolver. O primeiro pico na anisotropia foi detectado por tentativas pela experiência Toco e o resultado foi confirmado pelos experimentos BOOMERanG e MAXIMA. Essas medidas demonstraram que o universo é plano e foram capazes de indicar a teoria de string cósmico como uma teoria de formação da estrutura cósmica, e sugeriram que a Inflação cósmica é a teoria correta de formação estrutural.

O segundo pico foi detectado por tentativas por diversas experiências antes de ser definitivamente detectado pelo WMAP, que também detectou por tentativas o terceiro pico. A polarização da radiação cósmica de fundo foi primeiramente descoberta pelo *Degree Angular Scale Interferometer* (DASI). Várias experiências para melhorar as medidas da polarização da radiação cósmica de fundo em pequenas escalas angulares estão em andamento. Estas incluem DASI, WMAP, BOOMERanG e o *Cosmic Background Imager*. Outras experiências incluem a sonda Planck, o Telescópio cosmológico de Atacama e o Telescópio do Polo Sul.

## 6. os trabalhos de Charles Kao (1965) a respeito do uso de fibras ópticas nas comunicações.



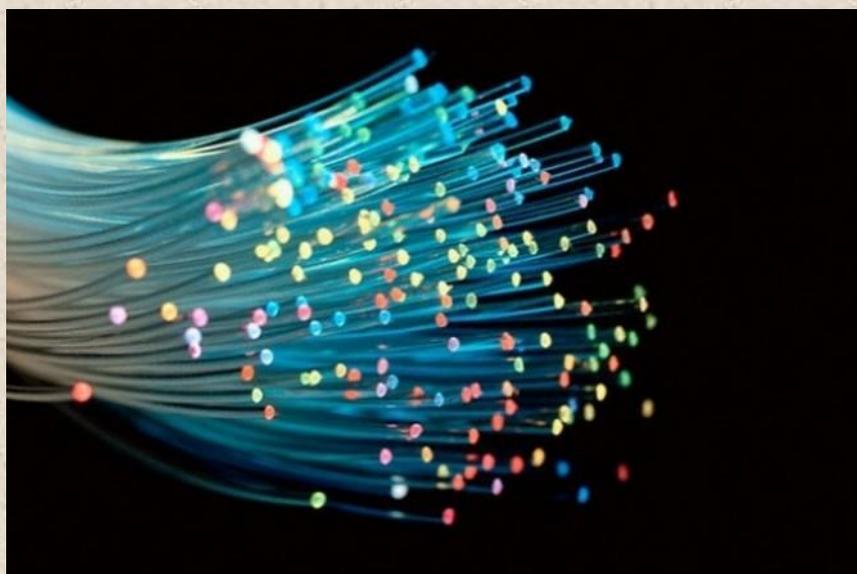
*Charles Kao*

Engenheiro e investigador chinês, **Charles Kuen Kao** nasceu a 4 de dezembro 1933, em Shangai. Estudou Engenharia Elétrica, no Politécnico de Woolwich (atual Universidade de Greenwich) e licenciou-se em Ciências na Universidade de Londres. Prosseguiu no campo da investigação e doutorou-se em Engenharia Elétrica, em 1965, enquanto trabalhava no Standard Telecommunication Laboratories em Harlow, Inglaterra, o centro de investigação da Standard Telephones and Cables.

Em 1970, integrou a Universidade de Hong Kong onde fundou o Departamento de Eletrônica (que se tornaria posteriormente no Departamento de Engenharia Eletrônica) e sob a sua liderança foram criados novos institutos dedicados à investigação. Foi reitor da Universidade de Hong Kong e diretor de várias empresas.

Na década de 60, **Kao** desenvolveu um trabalho pioneiro ao perceber que a **fibra ótica** poderia ser usada como um meio de telecomunicações e demonstrou que as falências das **fibras óticas** de então advinham das impurezas do vidro e não de uma falha da própria

tecnologia. Teoricamente, este estudo propunha o uso de fibras de vidro como forma de implementação da comunicação ótica, tendo-se tornado, de uma forma geral, a base de comunicação em **fibra ótica** que existe nos dias de hoje. O cientista e a sua equipa tentaram encontrar o material mais adequado ao fim pretendido; vários materiais foram testados e **Kao** percebeu que a sílica fundida era uma ótima opção para a comunicação ótica dado o seu elevado grau de pureza. O cientista também alertou para o fato de a impureza do vidro ser a principal causa da elevada fragmentação da transmissão da luz através da **fibra de vidro**. Esta constatação levou a um estudo mundial e à produção de **fibras de vidro de alta pureza**. Inicialmente, quando Kao sugeriu que a fibra de vidro poderia ser usada para transferência de informação à distância e, eventualmente, substituir os cabos de cobre foi bastante criticado. Mais tarde, percebeu-se que, afinal, as suas ideias iriam revolucionar toda a tecnologia e indústria da comunicação. Desta forma, **Charles Kao** contribuiu de forma decisiva para o desenvolvimento de diferentes tipos de fibra e de dispositivos ajustados para fins tanto civis como militares. As suas descobertas “ajudaram a moldar as fundações das atuais sociedades em rede”, segundo o Comité Nobel.



*Fibra ótica*

É membro do Instituto de Engenharia e Tecnologia, da Royal Society, da Real Academia de Engenharia, da Academia Europeia de Ciências e Artes, da Academia Nacional de Engenharia dos Estados Unidos e da Real Academia Sueca das Ciências de Engenharia. Foram-lhe atribuídos, entre outros, os seguintes prémios: a Medalha Stewart Ballantine, em 1977, pelo Instituto Franklin, o Prémio IEEE Morris N. Liebmann, o Prémio Internacional L. M. Ericsson, em 1979, o Prémio Cientista Internacional Marconi, em 1985, pela Fundação Marconi e o Prémio Nobel da Física, em 2009, que dividiu com **Willard Boyle** e **George Smith**.



*Willard Boyle*



*George Smith*