

Prêmio Nobel de Física de 2005: Roy J. Glauber, O Fundador da Óptica Quântica Teórica

.....
Salomon S. Mizrahi
Departamento de Física
Universidade Federal de São Carlos
.....

Vamos tentar localizar a contribuição de Glauber no contexto histórico do eletromagnetismo. Em 1905, Einstein reintroduziu, em base heurística, a noção de corpúsculo de luz (em parte, um retorno a Isaac Newton). Ele chegou a essa conclusão devido à descoberta de que as propriedades estatísticas da radiação (interpretada de acordo com o eletromagnetismo clássico) e de um conjunto de corpúsculos (quanta de luz) eram equivalentes se cada corpúsculo tivesse energia $E = hv$, onde h é a constante de Planck e v é a frequência da radiação. Com isso ele deu uma explicação ao efeito fotoelétrico, notando que, no espectro da radiação ultravioleta e não da luz visível, um elétron é ejetado de um metal quando absorve um quantum de energia hv , adquirindo uma energia cinética $K = hv - \phi$, sendo ϕ a energia necessária para arrancá-lo do metal.

A invenção e desenvolvimento formal da mecânica quântica e a formulação da teoria quântica da radiação deram ao fóton o *status* de um objeto de natureza dual, partícula-onda. Dependendo do experimento projetado, comporta-se como onda, como em experiências de interferência e de difração, ou como partícula, no caso do efeito fotoelétrico.

Uma das grandes contribuições de Paul Dirac, um dos co-fundadores da mecânica quântica, ocorreu em 1927, quando ele publicou um estudo sobre a interação da radiação -

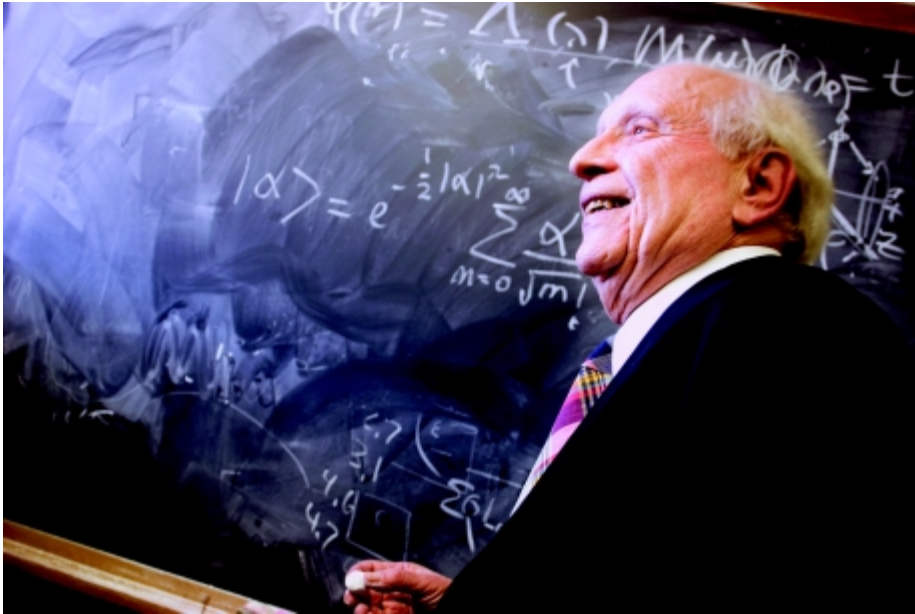
como um campo eletromagnético quantizado - com a matéria (um átomo descrito pelas leis da mecânica quântica). Em sua teoria, ele conseguiu deduzir os coeficientes de emissão espontânea e induzida (anteriormente propostos em 1917 por Einstein na sua teoria da radiação). Assim ficou estabelecido o início da eletrodinâmica quântica.

Ainda de acordo com Dirac, o fóton interfere com ele mesmo, pois fazendo passar fótons, sequencialmente, um a um, (com lapso de tempo entre as passagens), por um anteparo contendo duas fendas, como no experimento feito por Young no início

O físico norte-americano Roy J. Glauber, professor da prestigiosa Universidade de Harvard, foi contemplado com o Prêmio Nobel de Física de 2005. O professor Glauber divide o prêmio com outros dois físicos; o também norte-americano John L. Hall (25% do prêmio), da Universidade do Colorado, e o alemão Theodor W. Hänsch (25% do prêmio) do Instituto Max Planck de Munique, Alemanha. O prêmio foi concedido ao professor Glauber em reconhecimento pelo seu trabalho pioneiro sobre a natureza e comportamento da luz.



Professor Roy J. Glauber fala em uma conferência.



O prof. Roy J. Glauber em Harvard. Note no quadro negro atrás dele sua equação sobre os estados coerentes da luz (foto de Justin Ide/Harvard University).

do século XIX, na tela situada por trás do anteparo forma-se uma figura de interferência conforme mostrado na Fig. 1. Mas essa experiência era sempre realizada usando uma luz comum de intensidade muito tênue. Primeiro porque era a única disponível. Segundo porque pressupunha-se, erroneamente, que bastava uma fonte de luz emitir radiação com baixíssima inten-

sidade para que fosse considerada como constituída de fótons. Portanto, a teoria quântica da radiação não era uma teoria conclusiva, pois bastaria considerar que a matéria é quantizada, e não a radiação, para explicar todos os fenômenos até então observados e medidos. Não haveria a necessidade de quantizar o campo eletromagnético. Essa é chamada teoria semi-clássica da radiação.

Assim, sem ser totalmente elucidada a existência do fóton no contexto da óptica, ou seja, até a frequência da luz visível e no ultravioleta (embora já tivesse se comprovado sua existência real em frequências mais altas, como no espalhamento Compton na frequência dos raios X, e na aniquilação de par elétron-pósitron, com a produção de um raio gama) os físicos ensinavam, pesquisavam e usavam a teoria quântica da radiação corriqueiramente. Não obstante, existiam algumas dificuldades conceituais na interação radiação-matéria: o campo eletromagnético arrastado junto com um elétron em movimento implicava em uma massa infinita para o mesmo, e este era apenas um dos vários “infinitos” pre-

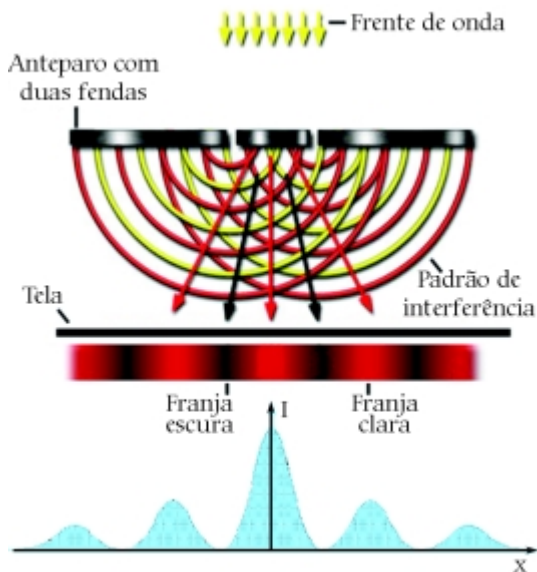


Figura 1: Fonte emissora de “ondas planas” que atravessam um anteparo que contém duas fendas. As fendas funcionam como fontes coerentes (mesma fase), de radiação que interferem entre si. O padrão de interferência manifesta-se pelas diferentes intensidades da radiação incidente sobre uma tela.

sentes na teoria. Essas dificuldades só foram contornadas no final da década de 1940, quando foi criada a eletrodinâmica quântica (EDQ), uma teoria baseada na relatividade restrita, na própria mecânica quântica e na noção de campo eletromagnético quantizado. Com o novo arcabouço formal bem estruturado, tornou-se possível descrever com rigor a interação entre partículas providas de massa, carga, dipolo magnético, dipolo elétrico, etc...e os quanta de luz. A EDQ tornou-se capaz de explicar com notável precisão todos os fenômenos de interação da radiação com a matéria. A elaboração da EDQ rendeu o Prêmio Nobel de Física de 1965 ao físico japonês S. Tomonaga e aos norte-americanos J. Schwinger e R.P. Feynman, seus principais inventores, embora muitos outros tivessem contribuído para a teoria.

A EDQ foi usada para tratar processos de colisões entre partículas elementares de altas energias, pois se supunha que os efeitos quânticos não se manifestariam significativamente nas observações em óptica a baixas energias. Em um dos artigos de 1963, Glauber escreve que “...a teoria quântica teve apenas uma fração da influência sobre a óptica (clássica) do que a óptica teve, historicamente, sobre a teoria quântica. E a explicação, sem dúvida, está no fato de que até hoje experimentos em óptica deram muito pouca atenção a fótons individuais”. Na medida em que as observações em óptica se limitam a medições de intensidades de luz ordinária, não é surpreendente que a teoria clássica consiga oferecer uma percepção simples e essencialmente correta. Mesmo até 1964 especialistas em óptica experimental afirmavam que “...nas condições em que flutuações da luz são medidas por detectores fotoelétricos, o tratamento semi-clássico da radiação se aplica tanto a campos de origem térmica como não térmica...”. Como exemplo, vamos comparar dois resultados sobre correlação de intensidades, um obtido com o tratamento clássico e o outro, devido a Glauber, essencialmente quântico.

Com a intenção de calibrar equipamentos necessários para calcular

distâncias entre objetos celestes luminosos, em 1956 dois astrofísicos britânicos, R. Hanbury Brown e R.Q. Twiss, montaram em seu laboratório uma fonte de luz monocromática e térmica (chamada luz incoerente) que faziam passar por um divisor de feixe e depois mediam a probabilidade conjunta de detecção dos pulsos das foto-correntes produzidas pelos dois sub-feixes em detectores espaçados. Como resultado de suas medições de correlação intensidade-intensidade,

A grande contribuição de Glauber foi ter criado, em trabalhos seminais publicados em 1963, uma teoria eminentemente quântica sobre a coerência, de múltiplas ordens, da radiação eletromagnética

Hanbury Brown e Twiss concluíram que os fótons chegavam aglomerados aos pares, um em cada detector (*bunching*) e interpretaram a forte correlação entre os feixes como indício do caráter fotônico da luz. Em 1957, o físico E.M. Purcell afirmou que o efeito poderia ter uma interpretação clássica, mas presumia que deveria ser devido à natureza quântica da luz e que finalmente o fóton, como entidade individual, entrava em cena na óptica. De certa forma isto acabou se confirmando em 1960, quando foi produzida a primeira fonte de luz coerente, o laser, de natureza totalmente diferente das fontes usuais artificiais ou naturais que emitem uma radiação dita térmica ou caótica (como a luz ordinária artificial e a luz do Sol ou das outras estrelas), visto que os átomos emitem radiação sem coerência de fase (as fases dos campos são distribuídas uniformemente entre 0 e 2π).

A grande contribuição de Glauber foi ter criado, em trabalhos seminais publicados em 1963, uma teoria eminentemente quântica sobre a coerência, de múltiplas ordens, da radiação eletromagnética, que poderia ser comprovada experimentalmente através da detecção dos fótons.

Era necessário descrever corretamente o que se estava medindo quando uma válvula fotomultiplicadora

acusava uma contagem, identificada por um pulso ou um 'click' registrado quando um fóton é absorvido pelo detector, uma vez que a foto-detecção baseia-se no princípio do efeito foto-elétrico.

Em seu estudo sobre a coerência da radiação eletromagnética, Glauber

determinou a função correlação entre os feixes em sua versão quântica, verificando que para um estado de luz térmica esta era igual à função correlação clássica. Deste modo ele

comprovou inequivocamente que a mecânica quântica não se fazia necessária quando esse tipo de luz era usado nos experimentos. Mas para um estado "mais quântico" do que a luz do laser ocorre o fenômeno de antiaglomeração de fótons (*antibunching*), o que foi verificado experimentalmente em 1977, caracterizando assim, de forma conclusiva, a natureza quântica da radiação na óptica, pois a teoria eletromagnética clássica é incapaz de fornecer uma explicação desse fenômeno.

Glauber também inovou com uma versão atual para um estado quântico especial que fora introduzido por Schrödinger, chamado *estado coerente*, que se tornou emblemático não apenas na descrição de campos eletromagnéticos com coerência de fase, mas em outras áreas da física em que seja ne-

cessário representar sistemas com propriedades quânticas mas com aspectos mais próximos do mundo clássico. O estado coerente de Glauber é adequado para descrever os estados do campo eletromagnético, pois ele possui os atributos de amplitude e fase (como ocorre para os campos clássicos) sem deixar de representar um estado puramente quântico. É também um objeto do qual pode ser extraída informação sobre o limite clássico do campo de radiação, o que

é de grande utilidade nas aplicações de sinais ópticos em comunicação e medições de alta precisão. E do ponto de vista prático, as propriedades estatísticas de um estado da luz produzida por um gerador laser são adequadamente descritas por um estado coerente.

É importante destacar que campos eletromagnéticos de caráter quântico ou mesmo os estados coerentes não existem na natureza, mas eles podem ser produzidos artificialmente. Assim, com os seus trabalhos em óptica teórica de 1963, Glauber revolucionou o estudo da óptica, com uma descrição precisa das propriedades estatísticas quânticas da luz, o que permitiu dar uma existência mais palpável ao conceito de fóton. Isso levou à abertura de novas avenidas na Física, como a manipulação de feixes de luz laser, ressonadores eletromagnéticos, espelhos, prismas, divisores de feixes, detectores, contadores, etc. O seu grande feito levou a uma nova área de conhecimento com intensa e abrangente pesquisa, conhecida como óptica quântica.

O ano de 1963 pode ser considerado o *annus mirabilis* de Glauber, pois além de seus três trabalhos em óptica, ele também publicou outro importante estudo sobre a dinâmica irreversível de um sistema de *spins*. As quatro publicações receberam mais de 6.000 citações.

Um fato digno de registro foi o convite, aceito em 1944, para participar do Projeto Manhattan, quando contava com apenas 19 anos de idade. Depois de seu desligamento do projeto, em 1946, ele fez seu doutorado na Universidade de Princeton, realizando pesquisas em física de altas energias. Em 1953 foi contratado pela Universidade de Harvard, onde continua trabalhando como Professor Emérito, mesmo depois de ter atingido a idade para a aposentadoria.

Leia mais sobre R.J. Glauber

<http://www.news.harvard.edu/gazette/daily/2005/10/04-nobel.html>
<http://nobelprize.org/physics/laureates/2005/index.html>
<http://www.physics.harvard.edu/people/facpages/glauber.html>