



O prêmio Nobel de 2005 prestigia mais uma vez os desenvolvimentos científicos para se entender e utilizar com exatidão a luz. Mais precisamente deveríamos dizer um tipo muito especial de luz: o laser. Dentre os muitos feitos científicos do século XX, poucos tiveram a abrangência conquistada pelo laser. Magnífico instrumento, que tem seu funcionamento baseado nas leis fundamentais da interação da radiação luminosa com a matéria, o laser (*light amplified by stimulated emission radiation*) tem encontrado, desde sua descoberta, uma vasta aplicabilidade cobrindo desde as pesquisas científicas mais fundamentais até aplicações na área médica, passando evidentemente pela metrologia de precisão. Ao longo da sua história, muitos foram agraciados com o Nobel por entenderem cada vez melhor este instrumento, ou por dar a ele um uso especial. Este é o caso dos cientistas Theodor Hänsch, alemão de Munique, e de John L. Hall, americano de Denver. Ambos foram agraciados com o Nobel de Física de 2005 “pelos suas contribuições ao desenvolvimentos

Na espectroscopia, o laser tornou possível entender detalhes extremamente sutis da natureza atômica e molecular da matéria

da espectroscopia de precisão usando laser”. Normalmente o laser é um instrumento de altíssima precisão geométrica e definição em frequência, fato que cria inúmeras possibilidades para seu uso. Nossa sociedade não seria a mesma caso não tivéssemos o laser. Desde a impressão gráfica de excelente qualidade até a leitura de um disco CD com alta fidelidade, o laser percorre todas as áreas do conheci-

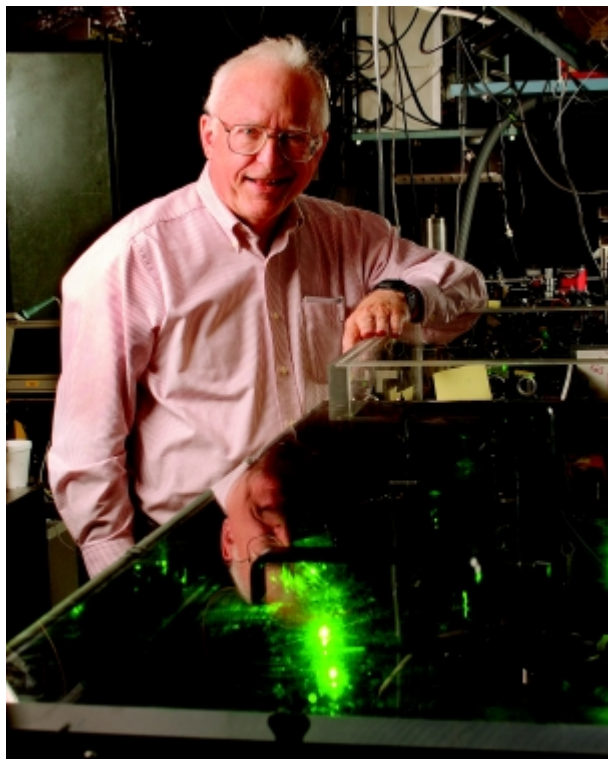
mento. Embora suas aplicações sejam importantes, o estudo deste instrumento por si só está longe de ser concluído e constitui uma das mais ativas áreas da investigação científica, em especial na chamada óptica quântica e na espectroscopia de átomos e sólidos. Na espectroscopia, que consiste no estudo da matéria através da luz, o laser simplesmente tornou possível entender detalhes extremamente sutis da natureza atômica e molecular. O laser nos permite hoje controlar o movimento de átomos, produzindo a chamada física dos átomos frios, onde tem sido possível a realização de experimentos inéditos que revelam a natureza quântica da matéria macroscópica. As técnicas de manipulação de átomos com luz fez surgir a chamada computação quântica. Para realizarmos estas fantásticas investigações utilizando o laser, é preciso que ele esteja estável, livre dos efeitos indesejáveis causados pelos meios externos. Apesar de apenas

emitir luz em uma única frequência, praticamente qualquer efeito perturbador externo muda esta frequência e limita a precisão

com que podemos utilizar este instrumento na observação dos efeitos mais finos. Ao longo de décadas, pesquisadores como J. Hall e T. Hänsch desenvolveram técnicas que permitem controlar os agentes perturbadores externos para se obter a luz laser no seu limite de estabilidade. Dizemos limite porque, de acordo com os princípios da mecânica quântica, não é possível ultrapassar certos limites de

.....
Vanderlei Salvador Bagnato
Instituto de Física de S. Carlos
USP
.....

Os professores Hall e Hänsch dividiram a outra metade do Prêmio Nobel de Física de 2005 pelos seus estudos em espectroscopia de precisão, alargando as possibilidades de uso do laser em grande parte do espectro.



John L. Hall em seu laboratório na Universidade do Colorado (UC) (foto: Larry Harwood, UC).

precisão e estabilidade. Além de contribuir para tornar os lasers mais estáveis, eles também desenvolveram técnicas utilizando estes lasers para que possamos ver os detalhes mais finos da estrutura dos átomos e moléculas. É importante dizer que a cada vez que o homem foi capaz de superar seus limites técnicos na investigação da natureza atômica, grandes avanços técnicos e científicos formam alcançados.

John Hall, nascido em Denver em 1934, obteve seu doutoramento em Física em 1961 pelo Carnegie Institute of Technology em Pittsburgh, no estado da Pensilvânia. Trabalhou grande parte de sua vida no National Institute of Standard and Technology em Denver e também como professor da Universidade do Colorado. Hall dedicou sua vida ao desenvolvimento de lasers de ultra-alta precisão e estabilidade, fato que proporcionou gerar ao seu redor vários grupos de pesquisa que causaram uma verdadeira revolução na espectroscopia de átomos e moléculas. Em especial, as técnicas de ultra-alta precisão para espectroscopia a laser desenvolvidas por J. Hall permitiram-lhe a realização de inú-

meras medidas que promoveram avanços na área de metrologia e também nas medidas de constantes fundamentais da natureza. Dentre estas várias medidas de precisão está aquela que permite medir o metro com luz, ou mais precisamente, definir o metro a partir da luz. O padrão “metro” deixou, há várias décadas, de ser definido como a barra de platina mantida em condições especiais em Paris. Esta forma de definição do metro era de difícil reprodução e criava sérios problemas para comparações. Utilizando espectroscopia atômica de precisão, o metro passou a ser definido como sendo um determinado número de comprimen-

tos de onda da luz de determinada linha espectral do kriptônio. Com esta definição, a precisão da definição do metro passou a depender da precisão de nossa capacidade em medir o comprimento de onda da luz que é absorvido por vapor de kriptônio em determinadas condições, e, portanto, passou a ser um problema da espectroscopia de alta precisão. Outro exemplo importante vem da definição do “segundo”, que também deixou de ser baseada na astronomia e passou a ser determinada como o inverso da frequência da radiação eletromagnética necessária para causar transição atômica no átomo de césio. As definições atômicas das unidades básicas de medida de comprimento e tempo foram alvo principal do avanço nas técnicas de estabilização de lasers. Definidas as unidades de comprimento e tempo a partir de medidas espectroscópicas ultra precisas, foi possível

definir a velocidade da luz como valor absoluto através do produto do comprimento de onda pela frequência. Hoje a velocidade da luz no vácuo é definida a partir de outras medidas espectroscópicas precisas e tem o valor de 299.792.458 m/s. Como consequência disto, o metro passou a ser definido como sendo a distância percorrida pela luz em um intervalo de tempo de $1/299.792.458$ de segundo. J. Hall foi figura marcante em todo este cenário de redefinições das unidades, trazendo para a Ciência as comprovações necessárias para a credibilidade das novas definições. Aliadas à metrologia, as técnicas desenvolvidas por J. Hall foram incorporadas a muitos instrumentos científicos, hoje empregados em laboratórios do mundo todo, permitindo grande avanço das ciências físicas e da engenharia de um modo geral.

Semelhantemente, Theodor Hänsch dedicou sua vida aos desafios de medidas precisas, principalmente envolvendo átomos de hidrogênio. Nascido em 1941 na cidade de Heidelberg, na Alemanha, ele recebeu seu doutorado na mesma cidade em 1969. Passou por várias instituições de renome mundial, tendo sido, inclusive, diretor do prestigioso Max-Planck Institute for Quantenoptik, em Garching, e professor de Física da Ludwig-Maximilians Universität em Munique. É praticamente impossível

Utilizando a espectroscopia atômica de precisão, o metro foi definido como sendo um determinado número de comprimentos de onda da luz de determinada linha espectral do kriptônio, evoluindo depois para a distância percorrida pela luz em um intervalo de tempo de $1/299.792.458$ de segundo

falar em medidas de precisão sem lembrar o nome de T. Hänsch. Estão a ele associados os valores mais precisos das medidas dos níveis de energia do átomo de hidrogênio, que permitiram saber com precisão antes inimaginável o valor da constante fundamental de

Rydberg, cujo valor conjuga a carga do elétron, da massa do elétron e da constante de Planck. A conjugação destas grandezas aparece com frequência na maioria dos fenômenos quânticos, e portanto seu conhecimento é de extremo interesse e



Theodor Hänsch na Ludwig-Maximilians Universität em Munique.

relevância para a Ciência, pois determinam os valores de tudo que se passa em nosso mundo, incluindo mesmo detalhes das origens do próprio universo. As contribuições de Hänsch à espectroscopia são inúmeras e foram determinantes em outras áreas como as técnicas para resfriar átomos. Em um famoso trabalho publicado

Apesar da vastidão dos trabalhos de Hänsch, um merece destaque especial por ter contribuído de forma marcante para o avanço da metrologia de tempo de frequência: o chamado “pente de frequência”

por Hänsch e A. Schawlow (ganhador do Nobel de Física em 1981), lançaram-se as bases das técnicas do resfriamento de átomos com o objetivo de minimizar as indesejáveis limitações introduzidas pelo efeito Doppler durante a realização de espectroscopia de átomos e moléculas. Apesar da vastidão dos trabalhos de Hänsch, um merece destaque especial por ter contribuído de forma marcante para o avanço da metrologia de tempo de frequência: o chamado “pente de frequência”. Até pouco tempo atrás, tínhamos a capacidade de medir frequências da radiação eletromagnética com altíssima precisão apenas na região de micro-ondas e radiofrequências. Quando tentávamos fazer o mesmo com as frequências mais altas da luz, as quais correspondem ao infra-vermelho, visível e mesmo ultravioleta, a situação era muito diferente. Para poder transferir a precisão de medidas das baixas para as altas frequências, procurava-se criar as chamadas cadeias de multiplicação, onde de um relógio atômico de césio, utiliza-se muitos lasers e diodos especiais até se poder chegar na faixa das altas fre-

quências. Este sempre foi um trabalho muito tedioso e que nunca atingiu as qualidades finais desejadas. Por conta destas dificuldades, a ultra-alta precisão das altas frequências sempre ficou atrás das micro-ondas. Recentemente, no entanto, as contribuições de Hänsch mudaram este panorama. Começando com pulsos de luz muito estreitos (da ordem de 10^{-15} de segundo) o pesquisador alemão, juntamente com seus colaboradores, foram capazes de produzir luz composta por uma seqüência de frequências indo desde os valores mais baixos até os valores mais altos, sendo que a distância entre os valores sucessivos desta seqüência de frequências é muito

bem fixo. A esta seqüência de frequências, deu-se o nome de “pente de frequências”. O mais interessante da produção destes pentes de frequências é a simplicidade com que podem ser

produzidas, utilizando-se apenas um laser de pulsos curtos e uma fibra óptica especial que tem propriedades ópticas que permitem a geração desta enorme variedade de frequências através de fenômenos não-lineares. Com o desenvolvimento do “pente de frequências” podemos agora levar a estabilidade e precisão para qualquer parte do espectro eletromagnético criando uma vastidão de novas aplicações e possibilidades incríveis de melhoria das aplicações já existentes, como o sistema GPS utilizado na navegação. Esta capacidade de levar precisão para todo espectro eletromagnético deverá promover um avanço incrível de nosso entendimento da natureza atômica, comparando as características espectrais de matéria e da anti-matéria, bem como

medir com maior precisão as constantes fundamentais da natureza e avaliar se elas vêm mudando com o tempo ou não. Não apenas Hänsch, mas também Hall tiveram contribuições significativas na viabilização do pente de frequência que hoje já se encontra comercialmente disponível e galopando rápido como aplicativo em vários setores.

A capacidade do homem em medir com maior precisão os fenômenos da natureza sempre traz surpresas e maior entendimento do universo no qual estamos embebidos. É na melhoria de nossa capacidade de ver as coisas com maior precisão que reside nossas chances de progredir o conhecimento científico, talvez o maior tesouro da humanidade. Mais uma vez o Comitê Nobel reconhece o esforço daqueles que dedicaram sua vida a este objetivo.

Em 2004 tivemos o prazer de receber aqui no Brasil o prof. Hänsch, que durante sua visita a São Carlos, nos laboratórios de física atômica, manifestou-se bastante impressionado pela qualidade da Física que se realiza no Brasil de um modo geral.



Prof. T. Hänsch durante sua visita ao Brasil em 2004, em uma recepção no IFSC-USP.