



Caetano, o Quantum de Planck e a Expansão do Universo

Caetano Veloso, na música *Livros* do seu CD *Livro* (agraciado no ano passado com o *Grammy*, a mais importante premiação musical dos Estados Unidos, na categoria *World Music*), se expressa nestes belos versos:

Tropeçavas nos astros desastrada
Quase não tínhamos livros em casa
E a cidade não tinha livraria
Mas os livros que em nossa vida entraram
São como a **radiação do corpo negro**
Apontando pra a **expansão do Universo**
Porque a frase, o conceito, o enredo, o verso
(E, sem dúvida, sobretudo o verso)
É o que pode lançar mundos no mundo.

.....

Nelson Studart

Professor na Universidade Federal de São Carlos e editor da *Física na Escola*.
e-mail: studart@df.ufscar.br

.....

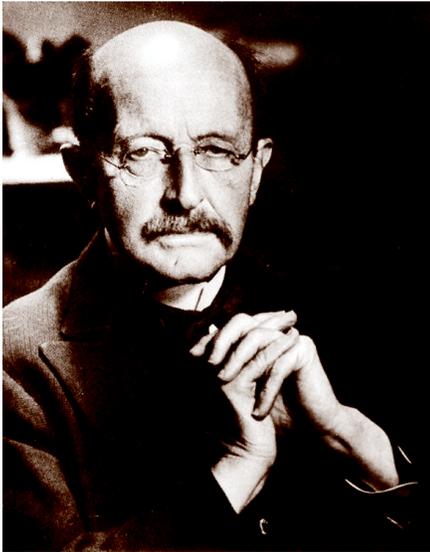
Caetano está bem assessorado sobre o conteúdo de seus versos: além de músico, seu filho Moreno é estudante de física na UFRJ. Mas o que significa a radiação do corpo negro e como ela se relaciona com a expansão do Universo?

Um corpo aquecido emite radiação eletromagnética em um largo espectro contínuo¹ de comprimentos de onda, principalmente na região do infravermelho (o que pode nos dar a sensação de calor), mas com intensidade variável que atinge um máximo em um determinado comprimento de onda. É bem conhecido, por exemplo, que um metal a 600 °C, (por exemplo, em um forno elétrico) apresenta uma fraca coloração avermelhada enquanto o mesmo material (por exemplo, em uma siderúrgica) apresenta uma cor azulada a temperaturas bem mais altas. O Sol, cuja temperatura na superfície é de cerca de 6.000 °C, é o exemplo mais familiar de emissão de radiação térmica, cujo espectro abrange toda a região visível incluindo a de comprimentos de onda maiores (infravermelho) e menores (ultravioleta).

Um dos grandes problemas ao final do século XIX consistia em determinar teoricamente a intensidade da energia de radiação emitida por um corpo negro. Max Planck (1858-1957) resolveu este problema e através dele provocou uma revolução na ciência e a busca de uma base conceitual para toda a física. Ele apresentou a sua teoria na sessão da Sociedade Alemã de Física, em 14 de dezembro de 1900, data que hoje é reconhecida como a fundação da física moderna. De modo a reproduzir os resultados experimentais, Planck teve que inventar um novo conceito: a quantização da energia. A energia de um sistema, considerada até então uma grandeza física contínua no mundo microscópico da matéria, deveria na verdade ser discreta. Esta noção de descontinuidade da energia deu origem ao nascimento da teoria quântica, que tem sido fundamental para a compreensão da matéria e da radiação.

Em dezembro de 2000, o mundo inteiro festejou o nascimento da teoria quântica que foi completada com os trabalhos de Albert Einstein (1879-1955) - que criou o quantum de luz para a radiação análogo ao quantum de energia de Planck para a matéria - e na década de 20, com os de Werner Heisenberg

Tal qual a arte em geral, nossa música popular está repleta de citações sobre os mais diversos campos do conhecimento científico. Veja como relacionar dois importantes fenômenos na visão de Caetano Veloso.



Max Planck, o fundador da mecânica quântica

(1901–1976), Wolfgang Pauli (1900–1958) Erwin Schrödinger (1887–1961), Paul Adrien Maurice Dirac (1902–1984) e Max Born (1882–1970).

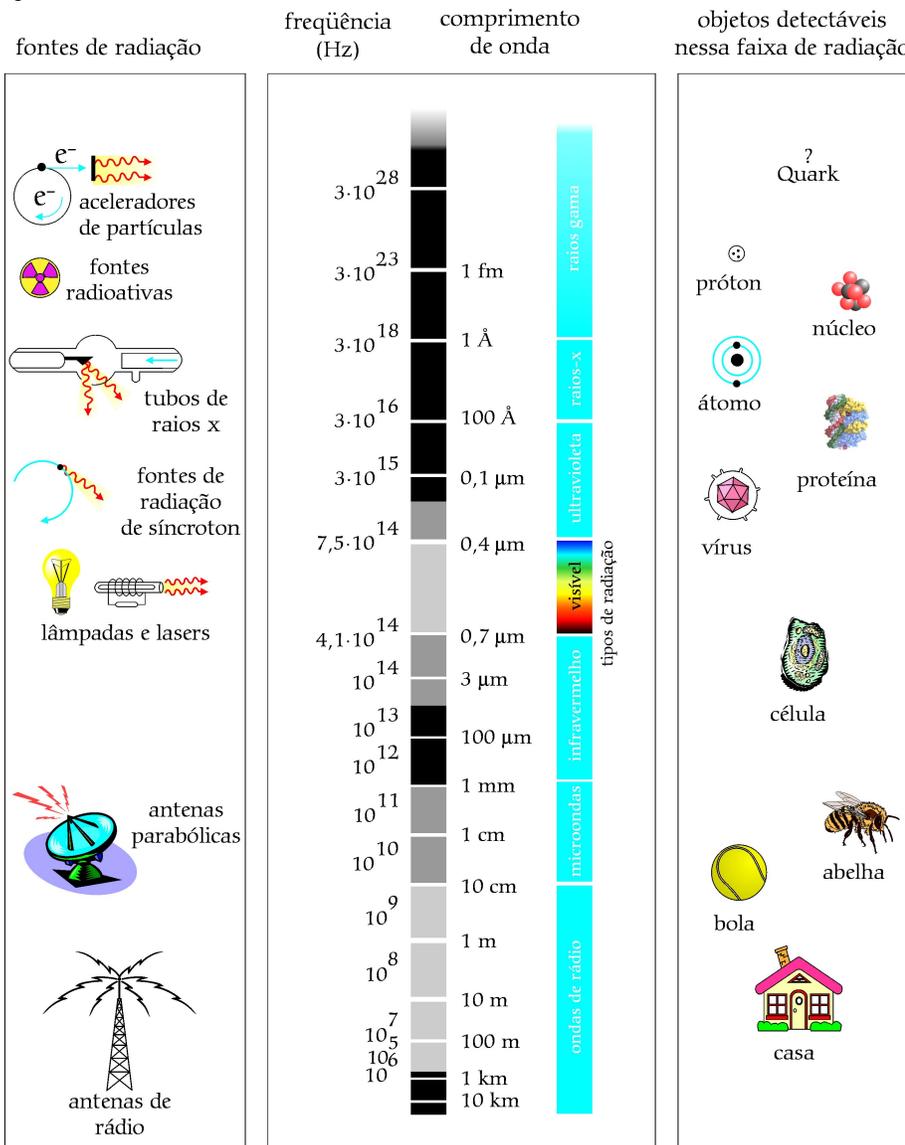
A Expansão do Universo

Uma das verificações experimentais mais marcantes e precisas da lei da radiação de Planck é a distribuição da energia térmica de fundo. O Universo está repleto de uma radiação cósmica de fundo a uma temperatura de 2,73 K, que é a mais importante evidência da teoria do *big bang* (segundo a qual o Universo foi criado por uma grande explosão) apoiada na expansão e resfriamento do Universo com o tempo. Esta radiação é o mais

antigo fóssil referente a um período em que a matéria (prótons e elétrons) estava em equilíbrio térmico com a radiação eletromagnética de todos os comprimentos de onda. Quando o Universo se esfriou a $T = 3000\text{ K}$ (a matéria já era constituída de hidrogênio atômico), a interação com a radiação se dava apenas nos comprimentos de onda das respectivas linhas espectrais² do hidrogênio. Nesta época, a maior parte da radiação se separou da matéria, esfriando-se, a entropia constante, até a atual temperatura de 2,73 K.

A primeira evidência da radiação fóssil foi encontrada por Arno Penzias (1933–) e Robert Wilson (1936–) em 1964. A distribuição espectral da radiação de fundo, as *microondas cósmicas*, foi obtida a partir dos anos 90 pela missão *Cosmic Background Explorer* (COBE. Os desvios da lei de Planck são mínimos (algumas partes por milhão) e são devidos a flutuações primordiais que levaram ao aparecimento das galáxias.

Texto baseado no artigo “A Invenção do Conceito de Quantum de Energia segundo Planck” *Revista Brasileira de Ensino de Física* v. 22, n. 4, p. 523, 2000, por Nelson Studart. A versão eletrônica deste artigo, com mais informações e a estrofe da música de Caetano podem ser encontradas no endereço www.labvirt.if.usp.br



Os diversos comprimentos de onda do espectro magnético, suas fontes geradoras e objetos que podem ser observados através dessas radiações.

Leia Mais

Nussenzveig, M. *Ciência Hoje* v. 28, n. 167, p. 71, dezembro de 2000.

Notas

1. O espectro eletromagnético é simplesmente um nome dado pelos cientistas para um conjunto de tipos de radiação. Radiação é a energia que viaja e se espalha pelo espaço. A luz visível é apenas uma pequena faixa deste espectro, de 700 a 400 nanômetros ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$). As ondas de rádio e as microondas em um forno doméstico são outros tipos de radiação, assim como os raios-X e os raios gama.

2. Diferentemente do espectro da radiação térmica, o espectro da luz emitida pelos átomos (como pelo vapor de um gás excitado por uma descarga elétrica) apresenta-se na forma de riscas brilhantes e bem definidas em vários comprimentos de onda.