



SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



A cor do céu: Einstein versus Smoluchowski.

Provavelmente, uma das mais antigas questões que intrigou o homem foi a razão do céu ser azul e, também, ser avermelhado o nascer e o por do Sol. Muitos cientistas tentaram explicá-los. O artista, inventor e cientista italiano Leonardo da Vinci (1452-1519), por volta de 1500, e o poeta e filósofo alemão Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), em torno de 1810, chegaram a observar certo azulamento na fumaça. Uma primeira explicação para tal percepção foi tentada pelo físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727), em seu livro **Optics**, publicado em 1704, ao atribuir os fenômenos de interferência (em primeira ordem), como sendo responsáveis pelo azul do céu. No entanto, tal explicação foi contestada pelo fisiologista alemão Ernst Wilhelm Brücke (1819-1892) - o introdutor dos métodos físicos e químicos na pesquisa em Medicina - ao observar que uma coloração azul nos hidrosóis (colóides solúveis na água) não poderia ser explicada como devido ao fenômeno de interferência em primeira ordem (como Newton havia suposto), já que esta ocorre em substâncias não-saturadas.

O primeiro passo importante para a explicação do azul do céu foi dado pelo físico inglês John Tyndall (1820-1893), em 1869 [*Philosophical Magazine* **37**(250); **38**(253), pgs. 384; 156] e 1870 (*Philosophical Transactions of Royal Society of London* **160**), ao estudar o espalhamento de um feixe de luz por um meio contendo pequenas partículas suspensas. Ele observou que uma sala cheia de fumaça ou de poeira torna visível um feixe de luz que, repentinamente, nela penetra. Ao notar um azulamento em um feixe de luz que atravessou um nevoeiro ("smog") formado por uma reação fotoquímica que estava realizando, escreveu em seu Caderno de Notas: *Associo este azul com a cor do céu*. A partir daí suas pesquisas sempre procuravam uma associação entre qualquer coloração azul em nevoeiros e a cor do céu. Essa observação de Tyndall, hoje conhecida como **efeito Tyndall**, fez com que o mundo científico o considere como o cientista que demonstrou a razão do azul do céu.

Como a explicação dada por Tyndall sobre a cor azul do céu era apenas qualitativa, outros físicos procuraram uma explicação quantitativa desse fenômeno, o que foi imediatamente conseguida pelo físico inglês John William Strutt, Lord Rayleigh (1842-1919; PNF, 1904), em 1871 [*Philosophical Magazine* **41**(4), p. 107]. Em sua explicação, o descobridor do argônio (*A*), demonstrou que a intensidade (*I*) da luz espalhada por gases é proporcional à quarta potência da frequência (ν) da luz considerada [ou inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda (λ), pois $\lambda\nu = c$, onde *c* é a velocidade da luz no vácuo], e assim, explicou de uma só vez a cor azul do céu e o vermelho do por e do nascer do Sol. Com efeito, como o azul tem uma das maiores frequências das cores do espectro luminoso, a atmosfera terrestre espalha mais azul do que as demais cores do espectro luminoso. (Aqui cabe uma observação, pois a cor de maior frequência daquele espectro é o violeta, porém, como nosso órgão visual é mais sensível ao azul do que ao violeta, vemos apenas o azul.) No caso do nascer e do por do Sol, sua cor avermelhada decorre do fato de que, nessas duas situações, os raios solares incidem tangencialmente à superfície de nosso planeta, então as cores de maior frequência são bastante espalhadas para cima do horizonte ficando, deste modo, apenas a vermelha, que é a cor de menor frequência do espectro luminoso.

Rayleigh chegou ao resultado indicado acima usando a Análise Dimensional. Vejamos como. Partiu da hipótese de que a amplitude *E* da luz espalhada por uma molécula de ar a uma distância *r* desta, é proporcional à amplitude *E*₀ da luz incidente, ao inverso de *r*, ao comprimento de onda λ , a *c* e ao volume esférico ($4\pi R^3/3$) da molécula de ar de raio *r*, ou seja:

$$E \propto \frac{1}{r} E_0 \lambda^\alpha c^\beta (4\pi R^3 / 3)$$

Ora, como E , E_0 não dependem do tempo (t), então a Análise Dimensional indica que $\beta = 0$. Por outro lado, fazendo-se o balanceamento dos expoentes da dimensão comprimento (r , R , λ), ainda essa Análise nos mostra que $\alpha = -2$. Por fim, como a intensidade (I) da luz é proporcional ao quadrado de sua amplitude, a expressão acima mostra que $I \propto \lambda^{-4} \propto \nu^4$, conforme registramos acima. [É oportuno observar que o físico sino-norte-americano Tsung-Dao Lee (1926- ; PNF, 1957), em seu livro intitulado **Particle Physics and Introduction to Field Theory** (World Scientific, 1981), usou argumentos da Análise Dimensional para obter ordens de grandeza de vários parâmetros físicos, tais como: o raio do átomo, o tamanho dos hádrons, e as secções de choque de interações fortes, fracas e eletromagnéticas.]

Vejamos mais alguns fatos relacionados com a explicação do azul do céu. Em 1874 (*Annalen der Physik und Chemie* **151**, p. 306), M. Avenarius demonstrou que quando a luz branca passa por um vapor próximo de seu ponto crítico, há o aparecimento de uma opalescência azulada. Por sua vez, o físico e químico escocês Sir James Dewar (1842-1923; PNQ, 1904) - o inventor da **garrafa térmica**, em 20 de janeiro de 1893, e, também, o primeiro a liquefazer e a solidificar o hidrogênio (H), em 1898 e 1899, respectivamente -, ao descobrir a cor azul do oxigênio (O) líquido, afirmou que a cor azul do céu se devia à presença desse elemento químico na atmosfera. Em 1908 (*Annalen der Physik* **25**, p. 205), o físico polonês Marian von Smolan-Smoluchowski (1872-1917), explicou a observação de Avenarius como sendo devida às flutuações da densidade do meio considerado e, com isso, o azul do céu. Em 1910 (*Annalen der Physik* **33**, p. 1275), o físico germano-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921) estudou o espalhamento da luz de comprimento de onda λ em um meio gasoso (de volume V , pressão P e temperatura absoluta T), ocasião em que demonstrou que:

$$r \propto \kappa_T \lambda^4, \quad \kappa_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T.$$

onde r representa a razão entre as intensidades espalhada e incidente da luz considerada e κ_T é a compressibilidade isotérmica do meio. Ora, como κ_T atinge o valor infinito no ponto crítico [lembrar que o químico irlandês Thomas Andrews (1813-1885) havia demonstrado em 1869 que, no ponto crítico (T_C), $\partial P / \partial V = 0$], então, para Einstein esse resultado, que concordava com o obtido por Rayleigh, em 1871, representava uma explicação satisfatória para a opalescência crítica. Em vista disso, concluiu: *O azul do céu é devido à opalescência crítica*. Por sua vez, em 1911 (*Bulletin International de l'Académie de Sciences et Lettres de Cracovie*, p. 493), retomando seu trabalho de 1908, Smoluchowski demonstrou que: *O azul do céu é consequência de dois fatores: espalhamento da luz pelas moléculas do ar e espalhamento devido às flutuações da densidade do ar*. Em vista desse impasse, em 27 de novembro de 1911, Einstein escreveu uma carta a Smoluchowski dizendo-lhe que só havia uma única causa para o azul do céu: *a opalescência crítica*. Em sua argumentação, afirmou que a coincidência entre o resultado obtido por Rayleigh, em 1871, e o obtido por ele, em 1910, não era um mero acidente. Em 12 de dezembro de 1911, Smoluchowski respondeu à carta de Einstein, dizendo-lhe: *Você está completamente certo*. Em 1916 (*Bulletin International de l'Académie de Sciences et Lettres de Cracovie*, p. 218), Smoluchowski apresentou o resultado de uma experiência na qual tentou reproduzir o azul do céu, baseado na opalescência crítica. Embora os primeiros resultados fossem promissores, sua morte em 1917 o impediu de levar a cabo seu projeto.

Creemos ser oportuno registrar que o cosmonauta soviético Yury Alekseyevich Gagarin (1934-1968), além de ser o primeiro homem colocado em órbita em torno da Terra, no dia 12 de abril de

1961, foi, também, o primeiro terrestre a ver o azul do céu, fora da Terra, pois, naquela ocasião, pronunciou a célebre frase: *A Terra é azul!*

[Página Inicial](#)

[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)