CAMPO ELETROMAGNÉTICO DE VÁCUO NÃO AFETA O ESPALHAMENTO DE RADIAÇÃO

Raphael Geraldo dos Reis[1], Roberto Baginski Batista Santos[2]
[1,2] Centro Universitário da FEI
ra_geraldo@hotmail.com, rsantos@fei.edu.br

Resumo: Determinamos a seção de choque de espalhamento de radiação para um oscilador harmônico submetido à reação da radiação e ao campo eletromagnético de vácuo. Mostramos que o campo eletromagnético de vácuo não afeta o espalhamento de radiação e que o tratamento clássico prevê linhas atômicas muito mais largas do que as observadas.

1. Introdução

Na física quântica, a reação da radiação e o campo eletromagnético de vácuo são responsáveis pela emissão espontânea de radiação por um átomo e determinam a forma de linha atômica para espalhamento de radiação. Neste trabalho, as seções de choque de espalhamento de radiação obtidas em dois regimes serão comparadas em um modelo no qual um oscilador harmônico é submetido à reação da radiação e ao campo eletromagnético de vácuo.

2. Metodologia

A radiação emitida por um elétron de carga $-e$ e massa m transporta energia e momento linear e está associada à força de reação da radiação[1]

$$\vec{F}_{\text{rad}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2e^2}{3c^3}\dot{\vec{a}} = m\tau\dot{\vec{a}}. \qquad (1)$$

Esta força age sobre a partícula, afetando seu movimento segundo a equação de Abraham-Lorentz

$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{ext}} - e\vec{E}_{\text{vac}} + m\tau\dot{\vec{a}} \qquad (2)$$

em que $\vec{F}_{\text{ext}}$ é uma força externa e $\vec{E}_{\text{vac}}$ é o campo elétrico de vácuo com média $\langle\vec{E}_{\text{vac}}\rangle = 0$ e variância

$$\langle E_x^2\rangle = \langle E_y^2\rangle = \langle E_z^2\rangle = \frac{\hbar\omega_m^4}{24\varepsilon_0\pi^2c^3} \qquad (3)$$

em que ω_m é um *cut-off* para o espectro de radiação do vácuo. Se efeitos radiativos são pequenas perturbações, o movimento é descrito pela equação de Eliezer

$$m\vec{a} = \left(\vec{F}_{\text{ext}} - e\vec{E}_{\text{vac}}\right) - \tau\left(\dot{\vec{F}}_{\text{ext}} - e\dot{\vec{E}}_{\text{vac}}\right) \qquad (4)$$

No domínio das frequências, obtivemos a transformada de Fourier $\tilde{x}(\omega)$ das soluções $x(t)$ das equações (2) e (4) em uma dimensão com força externa $F_{\text{ext}} = -m\omega_0^2x - eE(t)$. A frequência natural ω_0 foi estimada a partir da órbita semiclássica associada ao estado fundamental no modelo atômico de Bohr. Em seguida, calculamos o espectro de potência $P(\omega)$ da radiação espalhada e determinamos a seção de choque de espalhamento

$$\sigma(\omega) = P(\omega)/I(\omega) \qquad (5)$$

em que $I(\omega)$ é a intensidade espectral da radiação incidente sobre a partícula.

3. Resultados

Para a equação (2), obtivemos a solução

$$\tilde{x}(\omega) = \frac{e(\tilde{E}(\omega)+\tilde{E}_{\text{vac}}(\omega))/m}{(\omega^2-\omega_0^2)+i\tau\omega^3} \qquad (6)$$

que possui polos na parte superior do plano complexo, levando a efeitos acausais. A seção de choque de espalhamento de radiação é

$$\sigma(\omega) = \sigma_T\frac{\omega^4}{(\omega^2-\omega_0^2)^2+\tau^2\omega^6} \qquad (7)$$

em que $\sigma_T = 8\pi r_0^2/3$ é a seção de choque de espalhamento Thomson e r_0 é o raio clássico do elétron. Já a solução da equação (4),

$$\tilde{x}(\omega) = \frac{e(\tilde{E}(\omega)+\tilde{E}_{\text{vac}}(\omega))(1-i\tau\omega)/m}{(\omega^2-\omega_0^2)+i\tau\omega_0^2\omega} \qquad (8)$$

não apresenta qualquer efeito acausal e a seção de choque correspondente é

$$\sigma(\omega) = \sigma_T\frac{\omega^4(1+\tau^2\omega^2)}{(\omega^2-\omega_0^2)^2+\tau^2\omega_0^4\omega^2} \qquad (9)$$

Embora as equações (7) e (9) sejam distintas, as seções de choque mostradas na figura 1, diferem por, no máximo 15×10^{-6}%, sendo, na prática, indistinguíveis. Além disso, as seções de choque não dependem do campo de vácuo e a largura de linha $\Gamma/2\pi = 26{,}6$ MHz é muito maior do que o valor experimental [3].

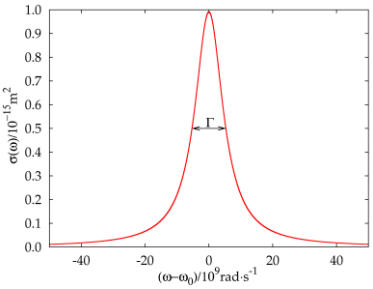

Figura 1. Seção de choque de espalhamento.

4. Conclusões

Mostramos que as seções de choque de espalhamento de radiação deduzidas das equações de Abraham-Lorentz e de Eliezer são indistinguíveis e não são alteradas pelo campo de vácuo. Comparamos a largura de linha obtida com o valor experimental e concluímos que o tratamento clássico da radiação é insuficiente mesmo com o campo de vácuo.

Esta pesquisa pode futuramente ajudar aos estudos da energia escura no espaço, pois está diretamente ligada ao estudo de forças no vácuo.

5. Referências

[1] LORENTZ, H.A. **The Theory of Electrons**. Leipzig: Teubner, 1909

[2] MILONNI, P.W. **The Quantum Vacuum**. Boston: Academic, 1993.

[3] UDEM, T. et al. **Physical Review Letters** v.79, p.2646, 1997.

[1] Aluno de IC do Centro Universitário da FEI