



# CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo  
[www.bassalo.com.br](http://www.bassalo.com.br)



## Efeito Uehling-Pasternack-Lamb.

Em 1928 (*Proceedings of the Royal Society of London A*117, p. 610.), o físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933) formulou a Teoria Relativística do Elétron traduzida pela hoje célebre *Equação de Dirac* (ED):

$$(i\hbar\gamma^\mu\partial_\mu - m_0c)\Psi = 0, \quad (\mu = 1, 2, 3, 4)$$

onde  $\gamma^\mu$  é uma matriz  $4 \times 4$ , a *matriz de Dirac*,  $\partial_\mu$  é o *quadri-gradiente*,  $\Psi$  é uma matriz coluna  $4 \times 1$ , o *spinor de Dirac*,  $m_0$  é a massa de repouso do elétron,  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $\hbar = h/2\pi$ , sendo  $h$  a *constante de Planck*.

Usando a ED, pode-se mostrar que a energia do elétron no átomo de hidrogênio (H) é dada por [José Maria Filardo Bassalo, *Eletrodinâmica Quântica* (Livreria da Física, 2006)]:

$$E_{nj} \approx m_0c^2 \left[ 1 - \frac{\alpha^2}{2n^2} - \frac{\alpha^4}{2n^4} \left( \frac{n}{j+1/2} - \frac{3}{4} \right) \right], \quad (j = \ell \pm 1/2)$$

onde  $\alpha = e^2/(\hbar c) \sim 1/137$ , é a *constante de estrutura fina*, e  $n$ ,  $\ell$ ,  $j$  representam, respectivamente, os números quânticos *principal*, *momento angular orbital* e *momento angular total*. A expressão acima indica que os estados de energia ( $E_{nj}$ ) de elétrons relativísticos no átomo de H e com os mesmos números quânticos  $n$  e  $j$  são *degenerados* (têm o mesmo valor), como os estados  $2s_{1/2}$  e  $2p_{1/2}$ . Note que, segundo os espectroscopistas,  $s$  corresponde a  $\ell = 0$  e  $p$  a  $\ell = 1$ .

A degenerescência da ED indicada acima começou a ser estudada logo na década de 1930. Com efeito, em 1932 (*Physical Review* 44, p. 1031), os físicos norte-americanos Edwin Crawford Kemble (1889-1984) e Richard David Present (n.1913), e, em 1935 (*Physical Review* 48, p. 55) o também físico norte-americano Edwin Albrecht Uehling (1901-1985) fizeram alguns cálculos teóricos que indicavam que deveria haver uma pequena diferença entre os estados  $2s_{1/2}$  e  $2p_{1/2}$ . Nesses trabalhos, eles observaram que quando uma carga elétrica  $Q_0 > 0$  é colocada no vácuo o seu campo coulombiano cria pares virtuais de elétron-pósitron e, portanto, elétrons desse par são atraídos para essa carga, enquanto os pósitrons tendem a se afastar para o infinito. Assim, a carga  $Q_0$  será parcialmente diminuída pelas cargas dos elétrons virtuais. Essa situação é análoga ao que acontece quando uma carga elétrica polariza um meio material quando é nele colocada. [José Maria Filardo Bassalo, *Eletrodinâmica Clássica* (Livreria da Física, 2007)]. Por isso, aqueles pares virtuais fazem o vácuo comportar-se como um “meio polarizável” e, portanto, a situação acima referida equivale a uma “*polarização do vácuo*”.

Em seu trabalho, Uehling observou que, em virtude da diminuição de uma carga elétrica colocada no vácuo como descrita acima, os estados eletrônicos  $s$  do átomo de H teriam maior probabilidade de penetrar no núcleo desse átomo, e, portanto, provocaria um abaixamento no nível de energia daqueles estados. Desse modo, ele demonstrou que o estado  $2s_{1/2}$  era 27 megahertz (27 MHz) menor do que o estado  $2p_{1/2}$ . Por essa razão, tal resultado ficou conhecido como efeito Uehling. Em 1937 (*Physical Review* 51, p. 446), o físico norte-americano William Houston (1900-1968) mediu a diferença entre esses estados usando espectroscopia óptica. Essa medida foi confirmada pelo também físico norte-americano Robley C. Williams, em 1938 (*Physical Review* 54, p. 558).

Uma nova explicação teórica para o efeito Uehling foi formulada pelo físico norte-americano Simon Pasternack (1914-1976), ainda em 1938 (*Physical Review* 54, p. 1113). Esse efeito, segundo esse físico, seria devido a uma repulsão de curto alcance, entre o elétron e o próton. Em vista disso, esse efeito passou a ser conhecido como efeito Uehling-Pasternack. Em 1939 (*Physical Review* 56, p. 384) e em 1940 (*Physical Review* 57, p. 458), o físico norte-americano Willis Eugene Lamb Junior (1913-2008;

PNF, 1955) mostrou que o efeito Uehling-Pasternack não poderia ser explicado considerando-se o decaimento de um próton em um nêutron seguido de um méson positivo. Por fim, em 1947 (*Physical Review* 72, p. 241), usando técnicas de microondas, Lamb e o físico norte-americano Robert Curtis Retherford (1912-1981) confirmaram esse efeito ao mostrarem, experimentalmente, que a passagem de uma microonda, de frequência  $\nu \cong 10^3$  MHz, através de átomos de H convertia o estado  $2p_{1/2}$  no estado  $2s_{1/2}$  desse elemento químico. A partir daí, esse resultado passou a ser conhecido apenas como efeito Lamb ou *deslocamento Lamb* (“Lamb shift”).

É interessante destacar que, segundo vimos em verbete desta série, o **efeito Uehling-Pasternack-Lamb** recebeu uma explicação teórica completa com a Eletrodinâmica Quântica desenvolvida nos trabalhos dos físicos, o japonês Jun-itiro Tomonaga (1906-1979; PNF, 1965), os norte-americanos Richard Phillips Feynman (1918-1988; PNF, 1965) e Julian Seymour Schwinger (1918-1994; PNF, 1965), e o inglês Freeman John Dyson (n. 1923), entre 1943 e 1949.



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)