

$$\text{SERIA } \epsilon = h\nu = \frac{m_0 v^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} ?$$

$$\text{WOULD IT BE } \epsilon = h\nu = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} ?$$

MANOEL ENÉAS BARRETO

RESUMO. Da análise do caso especial das "transformações de Lorentz", quando $x' = 0$, mostramos que, no limite, quando $v \rightarrow c$, a hipótese básica de Max Planck, $\epsilon = h\nu$, equivale à de Albert Einstein, $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$, conforme exposto no item 2.3. Neste caso a Teoria Quântica tem como hipótese revolucionária um resultado bastante conhecido da Teoria da Relatividade Especial. Assim, a oposição dos pontos de vista de uma e outra teoria é real ou decorre da insuficiência de nossos esforços de síntese?

ABSTRACT. From the analysis of the "Lorentz' transformations" special case, when $x' = 0$, we demonstrate that, in the limit, when $v \rightarrow c$, the basic hypothesis of Max Planck, $\epsilon = h\nu$, is equivalent to Albert Einstein's, $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$, as explained in item 2.3. In this case, the Quantum Theory's revolutionary hypothesis, is a well known result of the Special Theory of Relativity. Hence, are the opposing points of view of both theories real, or do they derive from our insufficient synthesis efforts?

SUMÁRIO

1. Introdução	2
2. Síntese	2
2.1. Dualidade onda-partícula	2
2.2. Quantização dos fenômenos físicos	5
2.3. Equivalência, no limite, quando $v \rightarrow c$, do princípio quântico, $\epsilon = h\nu$, devido à Max Planck, com o princípio da inércia da energia, $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$, devido à Albert Einstein	6
2.4. Ponto de falseamento	6
3. Análise	7
3.1. Constante de Boltzmann, k	7
3.2. Entropia, S	8
3.3. Efeito Compton	8
3.4. Fótons: massa de "repouso" nula?	9
3.5. Cinemática de "baixas velocidades"	9
3.6. Continuidade x quantização	10
3.7. Velocidade da luz variável (VSL)	11
3.8. Princípio da incerteza	12
3.9. Indeterminação	12
4. Base Teórica	13
4.1. Teoria da Relatividade Especial Quântica	13
5. Conclusão	14
Apêndice: Espectro Eletromagnético	14
Referências	14

1. INTRODUÇÃO

Em 1900, a partir do artigo "Sobre a lei de distribuição de energia no espectro normal", de Max Planck, origina-se a Teoria Quântica. Em 1905, Albert Einstein publica o artigo "Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento" e, a seguir, o artigo "A inércia de um corpo depende de seu conteúdo energético?", dando início à Teoria da Relatividade Especial. Essas teorias formam a base sobre a qual está assentada a física moderna. No entanto, em que pese a relevância delas para a explicação de diversos fenômenos físicos, as mesmas, por terem fundamentos distintos, se mantiveram até então independentes.

Como exemplo, podemos citar a interpretação dada por cada uma delas para o conceito de energia. Assim, enquanto a primeira define que $\epsilon = h\nu$, a segunda define que $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$, embora o fenômeno observado, nos dois casos considerados, seja o mesmo.

O objetivo deste artigo é mostrar que, no limite, quando $v \rightarrow c$, a hipótese básica do artigo de Max Planck, $\epsilon = h\nu$, equivale à de Albert Einstein, $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$, conforme exposto no item 2.3.

Neste caso a Teoria Quântica tem como hipótese revolucionária um resultado bastante conhecido da Teoria da Relatividade Especial.

Assim, a oposição dos pontos de vista de uma e outra teoria é real ou decorre da insuficiência de nossos esforços de síntese?

2. SÍNTESE

2.1. Dualidade onda-partícula. ¹

Dadas as "transformações de Lorentz"

$$(1) \quad x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$$

$$(2) \quad y' = y$$

$$(3) \quad z' = z$$

$$(4) \quad t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$$

se

$$(5) \quad x = vt$$

então

$$(6) \quad x' = 0$$

¹Embora a expressão 14 estabeleça uma relação entre a velocidade, v , o comprimento de onda, λ , e a frequência, ν , cabe ressaltar que na base deste modelo teórico está o fato de interpretarmos o tempo, $t' = t \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}$, deduzido para o caso em que $x' = 0$, como sendo o período, T , associado ao movimento do objeto material. Assim, do ponto de vista físico, resta correlacionar o "espaço", x , de modo a encontrar o "novo espaço", $x \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}$, de tal forma que a proporcionalidade seja mantida relativamente ao tempo, $t' = t \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}$. Para isso utilizamos, na dedução da expressão 14, de forma não usual, a operação de substituir por duas vezes o termo t' por $t \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}$. Evidentemente, essa operação não tem "valor matemático", possuindo, no entanto, valor físico fundamental, porque nos leva a quantificar o "novo espaço", $x \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}$, para podermos, em seguida, interpretá-lo.

e

$$(7) \quad t' = t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}.$$

Portanto, de 7, temos que

$$(8) \quad t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Substituindo-se 8 em 5, temos que

$$(9) \quad x = v \frac{t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

e, reescrevendo 9, temos que

$$(10) \quad v = \frac{x \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{t'}.$$

Substituindo-se 7 em 10, temos que

$$(11) \quad v = \frac{x \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

e, reescrevendo 5, temos que

$$(12) \quad v = \frac{x}{t}.$$

De 11 e 12 temos, portanto, que

$$(13) \quad \frac{x}{t} = v = \frac{x \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Nada nos impede, no entanto, de darmos um passo a mais e reescrevermos 13 da seguinte forma:

$$(14) \quad \frac{x}{1} \frac{1}{t} = \frac{x}{t} = v = \frac{x \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = x \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \frac{1}{t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

De 14, vê-se que o conceito de velocidade², v , resulta da divisão do espaço, x , pelo tempo, t , ou melhor, resulta do produto do espaço, x , pelo inverso do tempo, $1/t$.

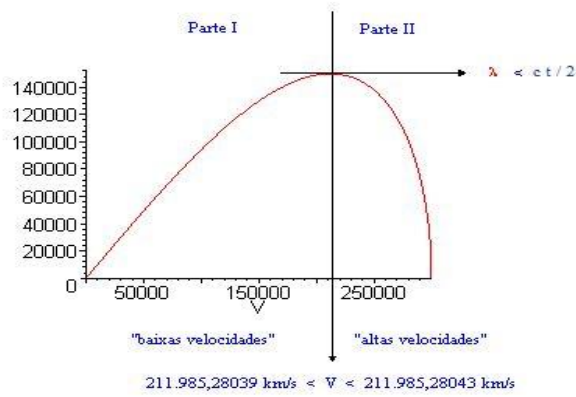
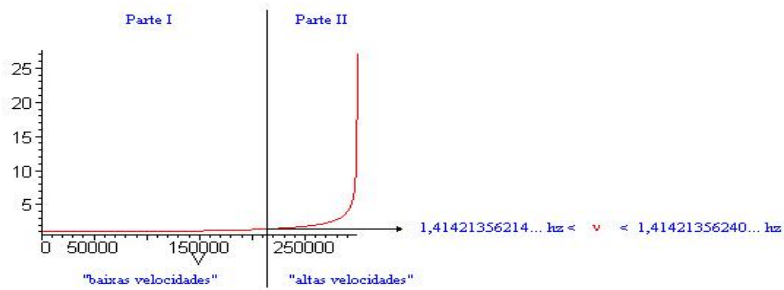
Essa expressão, no entanto, mostra a existência de elementos de natureza ondulatória associados ao movimento do objeto material, já que o espaço, x , tem dimensão de comprimento, L, e o inverso do tempo, $1/t$, tem dimensão de frequência, Hz³.

Esse fato é reforçado pela expressão matemática 14 porque ela nos mostra que o espaço, x , e a frequência, $1/t$, "medidos" do ponto de vista do observador em repouso, se transformam no espaço, $x \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$, e na frequência, $\frac{1}{t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$, respectivamente, quando o objeto se encontra em movimento.

Esse modo de ver indica que os fenômenos físicos possuem, associados a eles, o aspecto partícula, consolidado no conceito de massa/energia, m_0/E , e o aspecto onda, consolidado no conceito de velocidade, v . O aspecto onda é composto da parte espacial, $x \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$, e da parte

²Estamos considerando, evidentemente, que, associado à velocidade, v , encontra-se um objeto material que, em relação a um observador fixo, tem massa própria m_0 .

³Note-se que o tempo, t , só adquire "significado físico" a partir da definição do conceito de velocidade, v , e, segundo a interpretação contida nesse artigo, expressa-se no conceito de frequência, $1/t$, portanto, em Hz. Esse fato mostra que não existe um "espaço-tempo", como concebido por Minkovski, mas, sim, um "espaço-freqüência".

FIGURA 1. (Comprimento de onda, λ) x Velocidade, v FIGURA 2. (Freqüência, ν , e Período, T) x Velocidade, v

temporal, $\frac{1}{t\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$.

Essa interpretação torna natural a associação, para o tempo, t , igual a 1 segundo, do conceito de comprimento de onda, λ , ao novo espaço percorrido, $x\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}$, e do conceito de freqüência, ν , à nova freqüência, $\frac{1}{t\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$.

Temos, portanto, que

$$(15) \quad \lambda = x \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

se e somente se $\lambda_c = 0$ e

$$(16) \quad \nu = \frac{1}{t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

se e somente se $\nu_c = \infty$, onde $v < c$ e c é o referencial limite.

O período é dado por

$$(17) \quad T = t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

se e somente se $T_c = 0$, onde $v < c$ e c é o referencial limite.

Essas hipóteses são a base de nosso sistema: elas valem, como todas as hipóteses, aquilo que valem as conseqüências que delas podem ser deduzidas.⁴

2.2. Quantização dos fenômenos físicos.

Em 1924, Louis De Broglie defende sua tese de doutorado "Pesquisas sobre a Teoria Quântica", e, nela, propõe a seguinte relação:

$$(18) \quad p = \frac{h}{\lambda}.$$

Essa expressão foi comprovada em 1927 pelas experiências de Davisson e Germer.

Desta forma, tendo como premissa básica a validade da expressão 18 a utilizaremos para a dedução da constante de ação, h .

Assim, de 18 temos que

$$(19) \quad h = p \lambda.$$

Como é sabido, o momento relativístico é dado por

$$(20) \quad p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

e, de 15, temos que o comprimento de onda é dado por $\lambda = x \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$.
Desta forma, substituindo-se 20 e 15 em 19 temos que

$$(21) \quad h = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} x \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}.$$

Mas de 5 temos que $x = v t$.

Substituindo-se 5 em 21 temos que

$$(22) \quad h = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} v t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

e, cancelando os termos, temos que

$$(23) \quad h = m_0 v^2 t.$$

Note-se que a equação 23⁵ tem, no sistema MKS, dimensão de joule, J , vezes segundos, s , conforme deduzido por Max Planck.

⁴Esta frase é uma adaptação daquela contida na tese de Louis De Broglie, Pesquisas Sobre a Teoria Quântica, 1925a, p. 33, conforme citação de Pedro Sérgio Rosa na tese de mestrado Louis de Broglie e as ondas de matéria, p. 137.

⁵A quantização, do modo proposto no contexto da chamada "velha Teoria Quântica", surge naturalmente da expressão 23, pois, se considerarmos o tempo $t = 1$ segundo, quando a velocidade, $v \rightarrow c$ (referencial limite escolhido), $h \rightarrow m_0 c^2$, ou seja, tende a um valor limite. Por outro lado, observamos que a expressão 23 é compatível com os resultados esperados a partir de "argumentos clássicos", os quais levam à equação de Rayleigh-Jeans, pois, para um tempo $t = 1$ segundo, quando $v \rightarrow 0$, $h \rightarrow 0$. Há que se comentar, também, que a constante de ação, h , só possui validade dentro do contexto dos experimentos em que foi produzida, ou seja, a radiação do corpo negro. Assim, sua validade restringe-se a cálculos em que a partícula envolvida seja o fóton. Note-se que a equação $h = m_0 v^2 t$, associado, por exemplo, a elétrons, possui outro valor, já que a massa de repouso associada ao elétron, $(m_0)_e$, é diferente da massa de repouso associada ao fóton, $(m_0)_f$. Para outras partículas, teremos outros valores associados à constante de ação, h . Observe-se, ainda, que, para determinada partícula, a chamada constante de ação, h , é variável.

2.3. Equivalência, no limite, quando $v \rightarrow c$, do princípio quântico, $\epsilon = h\nu$, devido à Max Planck, com o princípio da inércia da energia, $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$, devido à Albert Einstein.

Segundo o item 10 do artigo de Max Planck, "Sobre a lei de distribuição de energia no espectro normal", "se aplicarmos a lei do deslocamento de Wien, sob a última forma, à expressão 6 da entropia S, nos damos conta que o elemento de energia ϵ deve ser proporcional ao número de oscilações ν e que portanto

$$(24) \quad \epsilon = h\nu."$$

Por outro lado, de 23 temos que $h = m_0 v^2 t$ e, de 16, temos que $\nu = \frac{1}{t \sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$.

Assim, substituindo-se 23 e 16 em 24 temos que

$$(25) \quad \epsilon = m_0 v^2 t \frac{1}{t \sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$$

e, cancelando os termos, temos que

$$(26) \quad \epsilon = \frac{m_0 v^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}.$$

A dedução 26⁶ mostra que, no limite⁷, quando $v \rightarrow c$, a hipótese básica utilizada por Max Planck para explicar a radiação do corpo negro, $\epsilon = h\nu$, equivale à de Albert Einstein, $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$.

Neste caso, a Teoria Quântica tem como hipótese revolucionária um resultado bastante conhecido da Teoria da Relatividade Especial.

Assim, a oposição dos pontos de vista de uma e outra teoria é real ou decorre da insuficiência de nossos esforços de síntese⁸?

2.4. Ponto de falseamento.

A tabela 2 deste trabalho indica que o campo eletromagnético e, portanto, o espectro eletromagnético tem um caráter geral, sendo aplicável a todo e qualquer ente físico. Este ponto de vista implica em que também os fótons, tal qual as demais partículas, possuem massa de "repouso" diferente de zero e que podem se deslocar com velocidades diferentes.

O primeiro assunto foi tratado no subitem 3.4 deste trabalho, no qual mostramos a possibilidade de termos associado aos fótons massa de "repouso" diferente de zero ($7,27 \times 10^{-48} g$).

Quanto ao segundo assunto, o mesmo foi tratado no subitem 3.7. Ali, mostramos a possibilidade de termos uma diferença de velocidade de $1 \times 10^{-10} \text{Å}$ quando consideramos a velocidade, v , associada ao extremo direito do espectro visível (comprimento de onda de 4.300 Å) e a velocidade associada ao referencial limite escolhido, c .

Por falta de precisão tecnológica, fica evidente a impossibilidade de realizarmos testes experimentais que refute ou valide tal previsão. Note-se, porém, que é possível, salvo impedimentos de outra ordem, realizarmos tais testes para medirmos a velocidade associada a ondas

⁶Esse resultado foi deduzido por Louis De Broglie e consta do livro *La réinterprétation de la mécanique ondulatoire* (Gauthier-Villars, Paris, 1971), às páginas 3 e 4. No entanto, os caminhos trilhados por Louis De Broglie e por este autor são inteiramente distintos, pois, enquanto o primeiro iguala equações de teorias diferentes, estabelecendo o que ele denominou na "Conclusão" de sua tese de "postulado fundamental", ou seja, "(...) a existência de um fenômeno periódico associado a cada porção isolada de energia e dependente de sua massa própria pela relação de Planck-Einstein. (...)" (página 86, tese de Louis De Broglie), sem, contudo, dar nenhuma fundamentação para isso, para então deduzir a expressão 26, este trabalho, partindo da análise do caso especial das "transformações de Lorentz", quando $x' = 0$, mostra que as duas equações são equivalentes.

⁷Ver nota de rodapé 15.

⁸Esta frase é uma adaptação daquela contida na tese de doutorado "Pesquisas sobre a Teoria Quântica", De Broglie, 1925a, p. 33, conforme citação de Pedro Sergio Rosa, na tese "Louis De Broglie e as ondas de matéria", p. 136.

cuja frequência se encontrem abaixo de 22.352,9438... Hz, pois, para esta faixa, a diferença de velocidade entre a onda associada ao referencial limite escolhido, c , e aquela associada às frequências tabuladas, é igual ou maior que o erro de medida previsto para o referencial limite escolhido⁹, conforme nos mostra a coluna $c - v$ do fragmento da tabela 2 exposto a seguir:

\underbrace{x}_{km}	$\underbrace{1/t}_{Hz}$	$\underbrace{v}_{km/s}$	$\lambda = \underbrace{x \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}_{km}$	$\nu = \frac{1}{\underbrace{t \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}_{Hz}}$	$c - v$
299.790	1	299.790	1.214,1290...	246,9177...	2.458,6 m/s
299.791	1	299.791	935,1705...	320,5736...	1.458,6 m/s
299.792	1	299.792	524,3744...	571,7135...	458,6 m/s
299.792,27	1	299.792,27	336,2759...	891,5066...	188,6 m/s
299.792,4	1	299.792,4	187,4450...	1.599,3612...	58,6 m/s
299.792,45	1	299.792,45	71,8082...	4.174,9005...	8,6 m/s
299.792,4571...	1	299.792,4571...	29,979245...	10.000	1,5 m/s
299.792,458	1	299.792,458	18,9671...	15.805,9181...	0,6 m/s
299.792,4581	1	299.792,4581	17,3145...	17.314,5158...	0,5 m/s
299.792,4582	1	299.792,4582	15,4865...	19.358,2172...	0,4 m/s
299.792,4583	1	299.792,4583	13,4117...	22.352,9438...	0,3 m/s

TABELA 1. Fragmento do Espectro Eletromagnético

Assim, sugerimos que seja realizado teste experimental para essa faixa como forma de validar ou refutar a proposta constante deste trabalho.

Ressaltamos que esta previsão encontra-se presente, em forma de conjectura, na tese de doutorado "Pesquisas sobre a Teoria Quântica" defendida em 1924 por Louis De Broglie, conforme relata Pedro Sérgio Rosa na tese de mestrado, "Louis de Broglie e as ondas de matéria", p. 160:

Podemos tentar fixar um limite superior do valor de m_0 . De fato, as experiências de T.S.F. [telegrafia sem fio] mostraram que as radiações com alguns quilômetros de comprimento de onda se propagam ainda sensivelmente com a velocidade c . Admitamos que ondas para as quais $1/\nu = 10^{-4}$ segundos tenham uma velocidade que difere de c por menos de um por cento. O limite superior de m_0 será:

$$(m_0) = \frac{\sqrt{2} h \nu}{10 c^2}$$

ou seja, aproximadamente 10^{-44} gramas. É até provável que m_0 deva ser escolhido ainda menor; talvez se possa esperar que um dia, medindo a velocidade no vácuo de ondas de frequência muito baixa, serão encontrados números sensivelmente inferiores a c . [itálico nosso](De Broglie, 1925a, p. 79)".

3. ANÁLISE

3.1. Constante de Boltzmann, k .

Do item 12 do artigo de Max Planck, "Sobre a lei de distribuição da energia no espectro normal", tem-se que

$$(27) \quad \lambda_m \theta = \frac{c h}{4,9651 k}$$

onde λ_m é o comprimento de onda do máximo da distribuição em E no ar à temperatura θ .

⁹O valor escolhido para cálculo dos valores numéricos e confecção dos gráficos, foi de 299.792,4586 km/s, com incerteza de mais ou menos 0,0003 km/s, ou seja, mais ou menos 30 cm/s, obtido, em 1983, pelo Bureau Nacional de Padrões dos Estados Unidos como medida da velocidade da luz usando lasers.

Assim,

$$(28) \quad k = \frac{c h}{4,9651 \lambda_m \theta}.$$

Substituindo-se 23 e 15 em 28 temos que

$$(29) \quad k = \frac{1}{4,9651} \frac{c m_0 (v_m)^2 t}{x \sqrt{1 - (\frac{v_m}{c})^2}} \frac{1}{\theta} = \frac{1}{4,9651} \frac{c m_0 (v_m)^2 t}{v_m t \sqrt{1 - (\frac{v_m}{c})^2}} \frac{1}{\theta}.$$

Cancelando os termos, temos que

$$(30) \quad k = \frac{1}{4,9651} \frac{m_0 v_m c}{\sqrt{1 - (\frac{v_m}{c})^2}} \frac{1}{\theta}$$

onde v_m é a velocidade da partícula cujo comprimento de onda é λ_m .

Note-se que a equação 30 tem, no sistema MKS, dimensão Joule, J , dividido por grau, θ , conforme deduzido por Max Planck.

3.2. Entropia, S .

De acordo com o item 10 do artigo de Max Planck, "Sobre a lei de distribuição de energia no espectro normal", "a entropia

$$(31) \quad S = k \left(1 + \frac{U}{h \nu}\right) \log \left(1 + \frac{U}{h \nu}\right) - \frac{U}{h \nu} \log \left(\frac{U}{h \nu}\right)$$

em que h e k são constantes universais."

Da substituição de 30 e 26 em 31, tem-se

$$(32) \quad S = \frac{1}{4,9651} \frac{1}{\theta} \left(\frac{m_0 v_m c}{\sqrt{1 - (\frac{v_m}{c})^2}} + \frac{U c}{v_m} \right) \log \left(1 + \frac{U}{\frac{m_0 (v_m)^2}{\sqrt{1 - (\frac{v_m}{c})^2}}}\right) - \frac{U c}{v_m} \log \left(\frac{U}{\frac{m_0 (v_m)^2}{\sqrt{1 - (\frac{v_m}{c})^2}}}\right)$$

onde v_m é a velocidade da partícula cujo comprimento de onda é λ_m .

3.3. Efeito Compton.

De acordo com o modelo teórico aqui apresentado podemos prever:

a) que a diferença de velocidade associada ao fóton antes do choque, $(v_0)_f$, e após o choque, $(v_1)_f$, seria de, aproximadamente, $0,120916984... \times 10^{-45} \text{ \AA/s}$;

b) que a velocidade, v , o comprimento de onda, λ , e a frequência, ν , do elétron após o choque seria de, aproximadamente, $299,758,065253911... \text{ km/s}$, $4,540,464469436... \text{ km}$ e $66,019251394... \text{ Hz}$, respectivamente; e,

c) que o nome "comprimento de onda compton" associado ao fator $\frac{h}{(m_0)_e c}$ é inadequado, porque, embora obtenhamos após os cancelamentos, um valor numérico cuja dimensão é comprimento, L , o mesmo nada tem a ver com "comprimento de onda", λ , pois, conforme estabelecido na equação 15, esse conceito está relacionado a uma e somente uma partícula, e não, a duas (numerador - massa de repouso fóton, $(m_0)_f$; denominador - massa de repouso do elétron, $(m_0)_e$, conforme nos mostra a equação

$$(33) \quad \lambda_0 - \lambda_1 = \frac{h}{(m_0)_e c} (1 - \cos \theta) = \frac{(m_0)_f (v_f)^2 t}{(m_0)_e c} (1 - \cos \theta).$$

Foram utilizados as fórmulas e os valores a seguir para efetuar os cálculos apresentados anteriormente:

a) $(P_e)^2 = ((P_f)_0)^2 + ((P_f)_1)^2 - 2(P_f)_0(P_f)_1 \cos\theta$ onde P_e é o momento do elétron, $(P_f)_0$ é o momento do fóton antes do choque e $(P_f)_1$ é o momento do fóton após o choque e θ o ângulo formado pela direção do fóton antes e depois do choque;

b) $\lambda = x \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}$;

c) $\nu = \frac{1}{t \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$;

d) $p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$;

e) $\lambda_0 = 0,7 \text{ \AA}$;

f) $\lambda_1 = 0,75 \text{ \AA}$;

g) $\cos\theta = -0,996087835$;

h) massa de repouso do fóton, $(m_0)_f = 7,27 \times 10^{-51} \text{ kg}$;

i) massa de repouso do elétron, $(m_0)_e = 9,11 \times 10^{-34} \text{ kg}$; e,

j) velocidade inicial do fóton, $(v_0)_f$, de $299792458,6 \text{ m/s}$.

3.4. Fótons: massa de "repouso" nula?

De 23 temos que $h = m_0 v^2 t$.

Assim,

$$(34) \quad m_0 = \frac{h}{v^2 t}.$$

Desta forma, substituindo-se na expressão 34 os dados contidos no artigo de Max Planck "Sobre a lei de distribuição da energia no espectro normal" e, utilizando-se neste cálculo o tempo, t , igual a 1 segundo, podemos calcular a massa¹⁰ de "repouso" aproximada do fóton¹¹.

Assim,

$$(35) \quad (m_0)_f = \frac{6,55 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}}{(3 \cdot 10^{10})^2 (\frac{\text{cm}}{\text{s}})^2 \cdot 1 \text{ s}} = 7,27 \cdot 10^{-48} \text{ g}.$$

Note-se que o valor encontrado é próximo daquele citado por Louis De Broglie em seu artigo Radiation - Waves and Quanta ($> 10^{-50} \text{ g}$), publicado no Comptes rendus, vol. 177, 1923, p. 507-510 (2).

3.5. Cinemática de "baixas velocidades".

O modelo matemático proposto estabelece fortes vínculos com a interpretação física atualmente aceita quando tentamos explicar por que Aquiles,¹² A , inevitavelmente, ultrapassa a Tartaruga, T .

¹⁰Ocasionalmente, tem-se especulado que o fóton pode ter uma massa pequena, não nula. Portanto, a informação experimental direta sobre a massa do fóton é uma questão interessante. A melhor determinação desta massa provém de observações astronômicas. O limite superior atual é de $8 \times 10^{-49} \text{ g}$ [D1]. No que se segue a massa do fóton é considerada como estritamente nula. Nota de rodapé do livro Sutil é o Senhor, p. 483.

¹¹Ver nota de rodapé 5.

¹²Esta aporia mostra a genialidade do filósofo Zenão de Eléia já que o mesmo demonstrou, há mais de dois mil anos, a impossibilidade da hipótese da continuidade como visão de mundo. Veja-se que a cinemática de baixas velocidades segue leis quânticas e se dá, portanto, aos "saltos".

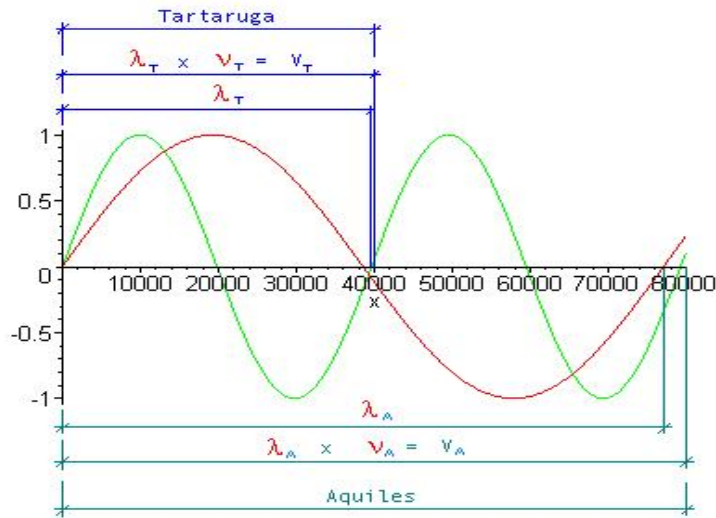


FIGURA 3. (Aquiles, A e Tartaruga, T) x velocidade, v)

Associaremos, simbolicamente, à Tartaruga a velocidade, $v_T = 40.000 \text{ km/s}$, cujo comprimento de onda, $\lambda_T = 39.642,3530... \text{ km}$ e frequência, $\nu_T = 1,0090... \text{ Hz}$ e a Aquiles, a velocidade, $v_A = 80.000 \text{ km/s}$, cujo comprimento de onda, $\lambda_A = 77.099,0177... \text{ km}$ e frequência, $\nu_A = 1,0376... \text{ Hz}$.

Em baixas velocidades, a mudança do estado espaço/temporal, ou seja, a mudança de velocidade, v , caracteriza-se por grandes variações no comprimento de onda, λ , e pequenas variações na frequência, ν . Isto pode ser verificado a partir da análise do comportamento do espaço, $x \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}$, e da frequência, $\frac{1}{t \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$, para esta faixa de velocidade, v .

Na questão em análise, em que simbolicamente Aquiles se movimenta a 80.000 km/s e a Tartaruga a 40.000 km/s , vê-se que enquanto a onda associada ao movimento de Aquiles tem um comprimento, L_A , de aproximadamente $77.099,0177... \text{ km}$, a onda associada à Tartaruga tem um comprimento, L_T , de aproximadamente $39.642,3530... \text{ km}$. Por outro lado, vê-se que as frequências associadas a Aquiles, ν_A , e à Tartaruga, ν_T , são, embora diferentes entre si, nos dois casos considerados, próximas a 1 Hz .

No entanto, a combinação entre o comprimento de onda, λ_A , e a frequência, ν_A , associadas a Aquiles, permite que ele, do ponto de vista de um observador em repouso, "salte" em 1 s , 80.000 km . Por outro lado, a combinação entre o comprimento de onda, λ_T , e a frequência, ν_T , associadas à tartaruga permite que ela, do ponto de vista de um observador em repouso, "salte" em 1 s , 40.000 km . É natural que se Aquiles, gasta 1 s para saltar 80.000 km , a Tartaruga, T , gasta 2 s , conforme ilustrado na figura 3.

Esse exemplo mostra a lógica que determina a cinemática de "baixas velocidade" e por que Aquiles ultrapassa, inevitavelmente, a Tartaruga.

Notemos que quanto mais a velocidade, $v \rightarrow 0$, mais bem evidenciado fica o processo descrito.

3.6. Continuidade x quantização.

Dadas as velocidades $v = 40 \text{ km/s}$, cujo comprimento de onda, $\lambda = 39,99999964... \text{ km}$ e frequência, $\nu = 1,0000000089012... \text{ Hz}$ e $v = 297.000 \text{ km/s}$, cujo comprimento de onda, $\lambda = 40442,759456438... \text{ km}$ e frequência, $\nu = 7,34371254562653... \text{ Hz}$, vemos que, no primeiro caso, referente à velocidade de 40 km/s , temos um comprimento de onda, $\lambda = 39,999999643... \text{ km}$, ou seja, muito próximo do valor da velocidade medida do nosso ponto

3.8. Princípio da incerteza.

Tem-se que os pares conjugados, como definido na mecânica quântica, são estabelecidos pelas seguintes relações:

$$(36) \quad \underbrace{\lambda}_{vt \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} \underbrace{p}_{\frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}} = \underbrace{h}_{m_0 v^2 t}$$

$$(37) \quad \underbrace{T}_{t \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} \underbrace{W}_{\frac{m_0 v^2}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}} = \underbrace{h}_{m_0 v^2 t}$$

onde λ é o comprimento de onda, p é o momento, T é o período e W é a energia cinética associados à partícula em movimento. Frisamos, no entanto, que, em altas velocidades $W \simeq E$ ¹⁵, razão que nos levou a apresentar o par conjugado apresentado na equação 37 utilizando-se a energia cinética, W . Percebe-se que os dois primeiros elementos dos pares conjugados, λ e T , para ficarem completamente definidos dependem do fator adimensional $\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}$ enquanto que os dois segundos elementos, p e E , dependem do fator adimensional $\frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$. Note-se que quando o primeiro fator, $\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2} \rightarrow 0$, o segundo fator $\frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} \rightarrow \infty$. É natural, portanto, que, $(\lambda \text{ e } T) \rightarrow 0$ enquanto que $(p \text{ e } E) \rightarrow \infty$.

Vê-se, no entanto, que cada elemento do par conjugado fica inteiramente determinado a partir das medidas efetuadas para o espaço, x , e o tempo, t . Assim, concluímos que o nível de precisão de cada elemento aumenta ou diminui de acordo com o nível de precisão das medidas efetuadas para estas variáveis.

3.9. Indeterminação.

A partir de uma análise superficial do modelo proposto, tem-se a impressão de domínio no que se refere à resposta do que seja "realidade", pois, a princípio, verifica-se que, a partir de uma única variável, velocidade, v , é possível calcular cada elemento envolvido nos chamados pares conjugados, conforme ilustrado no item 3.8.

No entanto, numa leitura atenta do artigo de Einstein "Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento", percebemos que ele muito refletiu a respeito da compatibilidade ou da incompatibilidade do postulado I, "Princípio da Relatividade", com o postulado II, "Constância da Velocidade da Luz", conforme fica evidente na frase realçada no texto a seguir:

(...) Vamos erguer à categoria de postulado esta nossa suposição (a cujo conteúdo chamaremos daqui em diante "Princípio da Relatividade"); e, além disso, vamos introduzir o postulado - *só aparentemente incompatível com o primeiro* [grifo nosso] - de que a luz, no espaço vazio, se propaga sempre com uma velocidade determinada, independentemente do estado de movimento da fonte luminosa. Esses dois postulados são suficientes para chegar a uma eletrodinâmica de corpos em movimento, simples e livre de contradições, baseada na teoria de Maxwell para corpos em repouso. A introdução de um "éter luminífero" revelar-se-á supérflua, visto que na teoria que vamos desenvolver não necessitaremos introduzir um

¹⁵Nesse artigo consideramos que a distribuição da energia total, E , é dada por

$$\underbrace{E}_{Total} = m_0 c^2 \underbrace{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}_{Potencial} + \underbrace{\frac{m_0 v^2}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}}_{Cinetica} = m_0 c^2 \underbrace{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}_{Potencial} + \underbrace{h\nu}_{cinetica}$$

Como conseqüência a energia cinética, W , relativa a entes físicos sujeitos a pequenas velocidades, quando considerados os efeitos relativísticos, é dada por $W \simeq m_0 v^2$, diferente, portanto, do que se considera correto atualmente que é $W = \frac{m_0 v^2}{2}$.

”espaço em repouso absoluto” nem atribuir um vetor velocidade a qualquer ponto do espaço vazio em que tenha lugar um processo eletromagnético. (...)

Não fosse a dúvida de Einstein a respeito da compatibilidade do ”Princípio da Relatividade” com a ”Constância da velocidade da luz” e ele não teria introduzido, logo no início do artigo, a frase em destaque no texto anterior.

Porém, analisemos melhor estes dois postulados¹⁶: o primeiro, denominado de ”Princípio da Relatividade” estabelece a equivalência dinâmica dos sistemas uns em relação aos outros, ou seja, traduz-se no fato de que não existe um referencial privilegiado, enquanto que o segundo postulado denominado de ”Constância da Velocidade da Luz” fornece um referencial limite, c , em relação ao qual se pode fazer comparações do tipo v/c , ou seja, traduz-se no fato de privilegiarmos um determinado referencial.

Concluimos, portanto, que estes dois postulados são incompatíveis e que a aceitação do primeiro implica abdicar do segundo. Disso resulta, como consequência imediata, perdemos a condição de fazermos comparações do tipo v/c e, portanto, de determinar o estado de movimento de todo e qualquer ente físico. Desta forma, *se existe uma ”realidade”, não existem meios de determiná-la.*

4. BASE TEÓRICA

4.1. Teoria da Relatividade Especial Quântica.

Uma análise do conteúdo dos itens 2.1, 2.4, 3.3, 3.4, 3.7 e 3.9 mostra que o modelo relativístico proposto neste trabalho, difere, pelo menos em parte, daquele originado dos artigos de Albert Einstein, ”Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” e ”A inércia de um corpo depende de seu conteúdo energético?”. Por outro lado, uma análise do conteúdo dos itens 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, 3.5, 3.6 e 3.8 mostra que o modelo quântico proposto neste trabalho também difere, pelo menos em parte, daquele originado do artigo de Max Planck, ”Sobre a lei de distribuição de energia no espectro normal”.

Desta forma, diante dos argumentos teóricos até aqui apresentados e, *sendo o resultado do teste experimental proposto no item 2.4 coerente com os valores numéricos ali apresentados*, entendo que seja necessário revisar, do ponto de vista físico, os fundamentos da Teoria da Relatividade Especial e da Teoria Quântica.

Desta revisão, seguindo o modelo aqui proposto, seria então possível criar uma *Teoria da Relatividade Especial Quântica* na qual prevaleceria a união dessas teorias.

Sobre este assunto tenho a dizer, em primeiro lugar, que não tenho esta nova teoria, mas que, no máximo, tenho uma ”expressão matemática” de validade restrita originada da interpretação do caso especial das ”transformações de Lorentz”, quando $x' = 0$, e, em segundo lugar que, caso esta revisão se mostre necessária, com base em reflexões por mim realizadas até o momento a respeito do assunto, esta nova teoria deverá basear-se, exclusivamente, no primeiro postulado do artigo de Albert Einstein ”Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” denominado de ”Princípio da Relatividade”. A introdução do segundo postulado, denominado de ”Constância da velocidade da luz”, conforme discutido no item 3.9, *embora funcional do ponto de vista matemático*, é incompatível com o primeiro do ponto de vista físico.

A insuficiente atenção a esse fato, aliado à falta de uma análise minuciosa do conteúdo e consequências advindas da aceitação da validade irrestrita do ”Princípio da Relatividade”, é a raiz das dificuldades com que se defronta presentemente a eletrodinâmica dos corpos em movimento baseada nas chamadas Teoria da Relatividade Especial e Teoria Quântica.¹⁷

¹⁶[Do lat. postulatu.] S.m. 1. Filos. Proposição não evidente nem demonstrável, que se admite como princípio de um sistema dedutível, de uma operação lógica ou de um sistema de normas práticas. 2. Fato ou preceito reconhecido sem prévia demonstração.

¹⁷Esclareço que as diversas dificuldades que tive na exposição do conteúdo deste trabalho decorrem, primeiro, da interpretação nele contida implicar numa transição onde a validade das conclusões da Teoria da Relatividade Especial se restringirem e, segundo, de não termos uma linguagem adequada para expor as idéias nele contida,

5. CONCLUSÃO

Segundo Parmênides,

O que é, é;
o que não é, não é;
é impossível que o que é não seja;
é impossível que o que não é seja.

Desse modo, consciente de que a expressão matemática e suas conseqüências serão submetidas a testes, tanto teóricos quanto experimentais, espero que a resposta obtida para estes testes seja: *o que é é!*¹⁸

Agradecimentos

Não citarei nomes porque, certamente, seria injusto com muitos. Assim, agradeço a todos, deste aqueles que entendi como contribuintes, até aqueles que, contribuindo, entendi que estavam atrapalhando. A estes, o Universo, melhor juiz, certamente protegerá. Excetuo, aqui, meus agradecimentos a Deus, porque, não fosse por sua permissão, esses conhecimentos não seriam revelados aos homens. Por outro lado, certamente a Ele, devo, primordialmente, a força e a determinação, porque, segundo meu entendimento, cada vez que melhor vemos a Sombra mais nos aproximamos do Ser. Ademais, conclui ser impossível, por este caminho, ver o Ser, o que talvez me motivasse a seguir nesta jornada. Assim, neste ponto, deixo a outros espíritos a tarefa de decodificar melhor a Sombra e, com isso, mais luz trazer à humanidade.

REFERÊNCIAS

- [1] Planck, Max, *Sobre a lei de distribuição de energia no espectro normal*, Annalen der Physik 4, 553 - 563 (1901).
- [2] Einstein, Albert, *Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*, Textos fundamentais da física moderna, Fundação Calouste Gulbenkian, p. 50 - 85, (1958).
- [3] Einstein, Albert, *A inércia de um corpo depende de seu conteúdo energético?*, Textos fundamentais da física moderna, Fundação Calouste Gulbenkian, p. 87 - 90, (1958).
- [4] Broglie, Louis De, *Pesquisas sobre a Teoria Quântica*, Annales de Physique, 10^a série - Volume III, Janeiro de 1925, pgs. 22 - 128.
- [5] Broglie, Louis De, *Radiation - Waves and Quanta*, Comptes rendus, vol. 177, (1923), p.507-510 (2).
- [6] Rosa, Pedro Sérgio, *Louis De Broglie e as ondas de matéria*, UNICAMP, IFGW, Campinas, SP, (2004).

o que só seria possível a partir da criação de uma nova teoria. Acrescente-se a isso o fato de termos perdido o referencial absoluto o que nos levou a um limite intransponível para determinarmos o que seja "realidade". Informo, ainda, que diversas reflexões que poderiam corroborar a visão aqui defendida foram suprimidas deste trabalho. Por outro lado, exceto pela defesa do "Princípio da Relatividade" como básico e único, pouco ou nada estou trazendo neste momento para contribuir na construção da aqui denominada *Teoria da Relatividade Especial Quântica*. No primeiro caso entendi desnecessário - o artigo poderia ser resumido à expressão matemática ou, no máximo, até o item 2.4 - e, talvez, fosse imprudente alongar um artigo já fora dos padrões estabelecidos. No segundo caso, por julgar que o que tenho são reflexões, talvez importantes, mas reconhecidamente esparsas e incompletas. A este dois motivos, acrescento um terceiro, este de ordem pessoal: passados longos 11 anos, neste momento, já não tenho mais disposição para isso, pois, tenho cuidado mal de mim e de outros bens valiosíssimos que estão sob minha responsabilidade e aos quais, daqui em diante, quero me dedicar mais e melhor. Sendo assim, encerro por aqui minha contribuição, passando, de agora em diante, se necessário e possível, a participar subsidiariamente dessa discussão. Dessa forma, é com muita alegria e certeza de ter cumprido minha parte, que deixo o restante desta tarefa a cargo de mentes melhores preparadas e mais brilhantes que a minha.

¹⁸Ao final deste trabalho já não compactuo da visão de Parmênides, conforme discussão apresentada no item 3.9. O esgotamento de um caminho, no entanto, não implica, obrigatoriamente, num fim. Ao contrário, pode nos levar a um novo começo.

\underbrace{x}_{km}	$\underbrace{1/t}_{Hz}$	$\underbrace{v}_{km/s}$	$\lambda = x \underbrace{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}_{km}$	$\nu = \frac{1}{t \underbrace{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}_{Hz}}$	$c - v$
0	1	0	0	1	299.792,4586 km/s
1.000	1	1000	999,994436734...	1,00000556329...	298.792,4586 km/s
10.000	1	10.000	9.994,4352...	1,0005567...	289.792,4586 km/s
50.000	1	50.000	49.299,6893...	1,0142051...	249.792,4586 km/s
100.000	1	100.000	94.272,74...	1,06075200...	199.792,4586 km/s
140.000	1	140.000	123.796,78...	1,13088560...	159.792,4586 km/s
180.000	1	180.000	143.943,89...	1,25048721...	119.792,4586 km/s
211.985,28039	1	211.985,28039	149.896, <u>2292...1991553</u> <i>21 casas decimais</i>	1,4142135621...	87.807,17821 km/s
211.985,28043	1	211.985,28043	149.896, <u>2292...9808858</u> <i>21 casas decimais</i>	1,4142135624...	87.807,17817 km/s
240.000	1	240.000	143.822,60...	1,66872238...	59.792,4586 km/s
259.627,8850	1	259.627,8850	129.813,9425...	2	40.164,5736 km/s
290.000	1	290.000	73.514,46...	3,94480213...	9.792,4586 km/s
295.000	1	295.000	52.536,75...	5,61511677...	4.792,4586 km/s
298.000	1	298.000	32.538,33...	9,15842769...	1.792,4586 km/s
299.000	1	299.000	21.725,85...	13,7624023...	792,4586 km/s
299.200	1	299.200	18.800,98...	15,9140611...	592,4586 km/s
299.300	1	299.300	17.148,1708...	17,4537...	492,4586 km/s
299.750	1	299.750	5.044,6529...	59,4193...	42,4586 km/s
299.780	1	299.780	2.732,9860...	109,6895...	12,4586 km/s
299.790	1	299.790	1.214,1290...	246,9177...	2.458,6 m/s
299.791	1	299.791	935,1705...	320,5736...	1.458,6 m/s
299.792	1	299.792	524,3744...	571,7135...	458,6 m/s
299.792,27	1	299.792,27	336,2759...	891,5066...	188,6 m/s
299.792,4	1	299.792,4	187,4450...	1.599,3612...	58,6 m/s
299.792,45	1	299.792,45	71,8082...	4.174,9005...	8,6 m/s
299.792,4571...	1	299.792,4571...	29,979245...	10.000,000000	1,5 m/s
299.792,458	1	299.792,458	18,9671...	15.805,9181...	0,6 m/s
299.792,4581	1	299.792,4581	17,3145...	17.314,5158...	0,5 m/s
299.792,4582	1	299.792,4582	15,4865...	19.358,2172...	0,4 m/s
299.792,4583	1	299.792,4583	13,4117...	22.352,9438...	0,3 m/s
299.792,4584	1	299.792,4584	10,9506...	27.376,6533...	0,2 m/s
299.792,4585	1	299.792,4585	7,7432...	38.716,4344...	0,1 m/s
299.792,45859	1	299.792,45859	2,4486...	122.432,1155...	10 cm/s
299.792,458598	1	299.792,458598	1,0950...	273.766,5331...	2 mm/s
299.792,458599	1	299.792,458599	0,7743...	387.164,3440...	1 mm/s
299.792, <u>4585999999...9</u> <i>23 casas decimais</i>	1	299.792, <u>4585999999...9</u> <i>23 casas decimais</i>	0,2448... $x 10^{-8}$	0,1224... $x 10^{15}$	$1 x 10^{-10}$ Å/s
299.792, <u>4585999999...9</u> <i>24 casas decimais</i>	1	299.792, <u>4585999999...9</u> <i>24 casas decimais</i>	0,7743... $x 10^{-9}$	0,3871... $x 10^{15}$	$1 x 10^{-11}$ Å/s
299.792, <u>4585999999...9</u> <i>30 casas decimais</i>	1	299.792, <u>4585999999...9</u> <i>30 casas decimais</i>	0,7743... $x 10^{-12}$	0,3871... $x 10^{18}$	$1 x 10^{-17}$ Å/s
299.792, <u>4585999999...9</u> <i>44 casas decimais</i>	1	299.792, <u>4585999999...9</u> <i>44 casas decimais</i>	0,7743... $x 10^{-19}$	0,3871... $x 10^{25}$	$1 x 10^{-31}$ Å/s
299.792, <u>4585999999...9</u> <i>82 casas decimais</i>	1	299.792, <u>4585999999...9</u> <i>82 casas decimais</i>	0,7743... $x 10^{-38}$	0,3871... $x 10^{44}$	$1 x 10^{-69}$ Å/s
299.792,4586	1	299.792,4586	0	∞	$0 x 10^0$ Å/s

TABELA 2. Espectro eletromagnético

E-mail address: `barretoem@ibest.com.br`