

**A Unificação Eletrogravitacional do ponto de vista clássico
(artigo originalmente publicado no Boletim do Instituto de
Matemática e Física da Universidade Federal de Goiás, nº 15,
ano 7, novembro/1992)**

Valdir Monteiro dos Santos Godoi
valdir.msgodoi@gmail.com

Resumo – Expõe-se uma teoria simples, clássica, a fim de resolver o problema da unificação eletrogravitacional, baseada em se admitir valores distintos para os módulos das cargas do elétron e do próton, dentro da precisão experimental atual. A teoria prediz que a gravidade não pode ser sempre atrativa, e sugere novas interpretações para alguns fenômenos. Sua comprovação necessitará de medidas de G em função do material e tamanho de corpos em interação.

§ 1 – Introdução

Pretende-se neste trabalho mostrar a relação existente entre as duas mais conhecidas forças de ação à distância, ou de campo, existentes na natureza, mais especificamente, no macrocosmos sentido por nós: a eletricidade e a gravitação.

Sabe-se que tal relação ainda não foi encontrada, embora várias teorias tenham sido formuladas, as mais modernas a partir do artigo de 1918 do alemão Hermann Weyl, “Gravitação e Eletricidade”^[1], onde era utilizada a notação tensorial, no mesmo estilo da teoria da Relatividade Generalizada de Albert Einstein, apresentada de maneira definitiva em 1916^[1]. As atuais fazem uso de teorias quânticas, conhecidas como teorias da supergravitação e das cordas, pretendentes a unificarem todas as forças de campo existentes.

Aqui não serão utilizadas teorias relativísticas, quânticas ou probabilísticas, a geometria do espaço será a euclidiana tridimensional e os tensores poderão ser inteiramente desprezados. Apesar de não possuir as exigências^[2] e a linguagem complexa que seriam esperadas de uma teoria unificadora, mostra-se que se for abandonada a igualdade entre os módulos das cargas do elétron e do próton a unificação eletrogravitacional se dá de uma maneira extremamente simples, utilizando-se somente da eletrostática.

§ 2 – A teoria

Com base nas seguintes premissas:

- 1) O próton governa a forma e o movimento dos corpos;
- 2) O elétron não participa da massa gravitacional de um corpo, em condições normais;
- 3) A gravidade não atua nas partículas elementares, mas é resultante destas;

é possível impor a igualdade entre a força elétrica sentida por um átomo em decorrência de outro e a respectiva força gravitacional, de modo que a unificação eletrogravitacional se dê átomo a átomo, pelo menos a distâncias superiores às ordens moleculares, pois, caso contrário, imperariam as forças e efeitos estudados na Física do Estado Sólido.

O modelo atômico é de fundamental importância e o a ser aqui utilizado será uma extensão tridimensional do modelo atômico de Bohr. Os elétrons orbitarão no interior de esferas eletrônicas de raios quaisquer, tendo no seu centro o núcleo atômico, composto dos prótons e dos nêutrons. Tal esfera eletrônica é idêntica aos orbitais “s” da Mecânica Quântica. Não será relevante precisar se é permitido ou não a um elétron alterar sua distância média do núcleo, desde que mantenha sempre uma órbita esfericamente simétrica em relação a ele.

Para efeitos de cálculos de forças em uma média temporal, com o modelo adotado pode-se admitir que os elétrons estejam localizados no próprio centro do núcleo, que se demonstra ao se obter o campo médio provocado por uma partícula carregada sobre todos os pontos de uma casca esférica, estendendo-se a conclusão para a esfera inteira.

Desta maneira nota-se imediatamente que a força elétrica resultante provocada por qualquer átomo com igual número de prótons e elétrons seria nula, mas supondo-se que o próton tenha carga inferior a do elétron, em valores absolutos, passa o núcleo de um átomo a ser atraído por outro, acompanhando-o neste movimento os elétrons que o circundam, de acordo com leis que não serão aqui levadas em consideração.

Sendo Z_1 e Z_2 os números atômicos de átomos 1 e 2, respectivamente, a força elétrica mensurável aplicada nos prótons de 1 deve-se exclusivamente ao átomo 2, e será esta força, então, a sentida por todo o átomo 1 e dada por

$$F_{el} = K \frac{Z_1 Z_2}{r^2} (p e - p^2), \quad (1)$$

onde $K = 1/(4\pi\epsilon_0)$ é a constante de proporcionalidade da lei de Coulomb, r a distância entre os centros de 1 e 2 e $p e$ e os módulos das cargas elétricas do próton e do elétron, respectivamente.

A força gravitacional aplicada em 1 por 2 terá o mesmo sentido de (1), e será dada por

$$F_{gr} = \frac{G (Z_1 m_p + N_1 m_n) (Z_2 m_p + N_2 m_n)}{r^2}, \quad (2)$$

onde G é o fator de proporcionalidade da lei da atração gravitacional, N_1 e N_2 os números de nêutrons dos átomos 1 e 2 e m_p e m_n as massas do próton e do nêutron, respectivamente.

A igualdade entre (1) e (2) dependerá sempre dos valores de Z_1 , Z_2 , N_1 e N_2 , que faz com que G varie em função dos materiais dos corpos em interação. Expressando (2) em termos da razão entre o número de nêutrons e de prótons destes materiais (supostos simples ou não polarizados),

$$q_1 = \frac{N_1}{Z_1}; q_2 = \frac{N_2}{Z_2}; \quad (3)$$

pode-se eliminar a dependência de N_1 e N_2 , de modo que a força gravitacional entre dois átomos seja reescrita como

$$F_{gr} = \frac{G Z_1 Z_2 (m_p + q_1 m_n)(m_p + q_2 m_n)}{r^2}, \quad (4)$$

cuja igualdade com a força elétrica (1) fornece

$$K (p e - p^2) = G (m_p + q_1 m_n) (m_p + q_2 m_n), \quad (5)$$

donde

$$e = p + \frac{G}{K p} (m_p + q_1 m_n) (m_p + q_2 m_n), \quad (6)$$

e

$$p = \frac{e}{2} + \sqrt{\left(\frac{e}{2}\right)^2 - \frac{G}{K} (m_p + q_1 m_n) (m_p + q_2 m_n)}. \quad (7)$$

Como, usando-se diferenciais,

$$\sqrt{x - \Delta x} \approx \sqrt{x} - \frac{\Delta x}{2\sqrt{x}}, \quad (8)$$

a carga do próton calculada a partir de (7) será aproximadamente igual a

$$p \approx e - \frac{G}{K e} (m_p + q_1 m_n) (m_p + q_2 m_n). \quad (9)$$

Uma vez que o chumbo ($Z=82$, $A=N+Z=207$) foi o elemento usado na primeira experiência determinadora de G ,^{[3],[4]} cujo valor para a razão q é de cerca de

$$q \approx 1,524, \quad (10)$$

uma estimativa para a diferença entre as cargas do elétron e do próton é

$$e - p = 8,376 \times 10^{-55} \text{ C}, \quad (11)$$

onde se usaram os valores $G = 6,754 \times 10^{-11}$, $K = 8,988 \times 10^9$, $p = 1,602 \times 10^{-19}$, $m_p = 1,673 \times 10^{-27}$ e $m_n = 1,675 \times 10^{-27}$, unidades S.I., arredondados no quarto algarismo significativo.

Sabe-se experimentalmente que a carga do elétron, em valor absoluto, é igual à carga do próton com uma precisão relativa de 10^{-21} ^{[5],[6]}, i.e.,

$$\left| \frac{|e^+| - |e^-|}{|e^\pm|} \right| \leq 10^{-21}, \quad (12)$$

ainda muito insuficiente para garantir igualdade entre cargas. Tais experimentos precisam aumentar sua precisão em pelo menos 15 ordens de grandeza, já que de (11) obtém-se

$$\frac{e-p}{e} \approx 5,228 \times 10^{-36}. \quad (13)$$

Pode-se especular sobre a existência de uma nova sub-partícula, carregada negativamente e de módulo igual a (11), constituinte do próton. O próton seria formado dos 3 quarks conhecidos, $+2/3e$, $+2/3e$ e $-1/3e$ e desta outra subpartícula. Poderíamos batizá-la de “gráviton”, já que seria a responsável pela existência da gravidade. Não estaria em desacordo com os atuais modelos nucleares devido a sua debilíssima intensidade.

§ 3 – Consistência da teoria e verificações experimentais

A teoria apresentada, como já dito, faz com que a unificação eletrogravitacional se dê átomo a átomo, que vem a ser, sem dúvida, a maneira mais simples e geral possível. Moléculas polares produzirão campos gravitacionais não simétricos, já que serão equivalentes aos respectivos campos elétricos.

O magnetismo não foi considerado porque este, em média, é nulo, desde que não se trate de corpos magnéticos. Isto sugere que a interação gravitacional entre um corpo magnético e um não-magnético seja diferente da interação entre dois não-magnéticos, ou, generalizando, entre radioativos.

A participação dos nêutrons na produção da gravidade fica sem explicação, exceto que se descubra que eles são portadores de carga.

Também não foi indicada nenhuma relação entre a gravidade e as forças nucleares, embora todas sejam manifestações distintas da mesma força.

Um corpo “neutro” será, algebricamente, um corpo carregado negativamente, com carga

$$Q = - (e - p) n, \quad (14)$$

onde n é o número de prótons (ou elétrons), e seriam necessários

$$n = \frac{e}{e-p} \approx 1,913 \times 10^{35} \quad (15)$$

pares próton-elétron para produzirem a carga elementar, número que corresponderia a um corpo de chumbo de mais de 800 mil toneladas ou a um hidrogênio puro de mais de 300 mil toneladas, neste último caso, admitindo-se que prótons e elétrons tenham cargas elétricas bem definidas.

É possível que a interação gravitacional entre dois corpos extremamente massivos, i.e., possuidores de elevada carga negativa, apresente comportamento diferente do existente quando um deles pode ser considerado pontual, já que, de acordo com a eletrostática, deveriam se repelir. Melhor compreensão do fenômeno pode vir a explicar anomalias observadas na Astronomia, como o desvio da trajetória linear de um feixe de luz ao passar nas proximidades de um astro (i.e., a luz tem carga, e não apenas massa), o avanço do periélio de Mercúrio, a matéria “faltante” das galáxias e talvez até a própria expansão do Universo.

Fica óbvio que nem tudo na Terra será atraído gravitacionalmente por ela, e a existência das nuvens no céu é uma boa prova disso, bem como a dos arcos voltaicos, que devem ser constituídos predominantemente de cargas negativas. As “armadilhas” magnéticas utilizadas no confinamento de plasmas em *tokamaks*, assim sendo, bem poderiam ser reprojctadas a fim de levarem em consideração a “queda para o alto” dos elétrons livres e outros efeitos produzidos pela Terra. Mesmo os buracos negros, caso existam, deverão repelir partículas carregadas negativamente.

Uma verificação experimental direta da teoria é impossível, mas a simples existência da gravidade poderia servir de prova indireta. Duas experiências, entretanto, são necessárias:

- 1) obtenção de G , pelos métodos usuais (ver § 4), utilizando-se materiais de razão $q = N/Z$ variando desde pouco acima de 1, como o alumínio ($q \approx 1,077$) e o níquel ($q \approx 1,107$), até os mais densos, como a platina ($q \approx 1,500$) e o urânio ($q \approx 1,587$), inclusive isótopos, confrontando com o esperado,

$$G = \frac{K p (e-p)}{(m_p + q_1 m_n)(m_p + q_2 m_n)}, \quad (16)$$

variável desde cerca de $6,4 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ até próximo de $10^{-10} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$;

- 2) obtenção de G utilizando-se corpos de dimensões semelhantes e para diversos materiais, inclusive magnéticos e radioativos.

A necessidade de segunda experiência fica clara quando se percebe que as forças magnéticas entre ímãs de dimensões semelhantes são atrativas e repulsivas, mas quando um dos ímãs é bem maior que o outro resultam apenas forças atrativas (precedidas de eventuais rotações), com 100% de probabilidade, passando a se comportarem como uma forma forte de gravidade. Em escalas laboratoriais, talvez corpos diamagnéticos de dimensões semelhantes repilam-se gravitacionalmente, e na maioria das outras situações prevaleça a atração. Assim sendo, uma perfeita unificação eletrogravitacional deverá ser feita utilizando-se das lições do magnetismo quântico, certamente agradável aos estudiosos da matéria.

Embora hajam resultados^{[7],[8],[9]} donde se conclua que o valor de G independe da natureza dos materiais, baseiam-se na interação da Terra e um corpo (pequeno) em sua superfície, envolvendo-se então uma grande desproporção entre as dimensões, podendo somente serem aceitos como um caso limite.

A segunda das premissas enumeradas, “o elétron não participa da massa gravitacional de um corpo, em condições normais”, é condizente com a teoria da Relatividade Restrita. A contribuição aceleradora que um elétron a um próton seria, em outro momento, anulada por uma aceleração em sentido oposto, devido a simetria nas órbitas, e, como resultado médio, balanças não registrarão a presença dos elétrons, o que, aliás, também está de acordo com a Química Quantitativa. Ao se aumentar a velocidade de um sistema, entretanto, parte da massa flutuante pode vir a exercer influência do tipo “massa fixa”, que vem a ser uma explicação qualitativa para o aumento relativístico da massa. Como se têm notícias de que o elétron também sofre aumento de massa em velocidades próximas a da luz, lança-se aqui a hipótese de que os elétrons não são partículas elementares, mas constituídos de nuvens de partículas menores, e estas, provavelmente, por menores ainda, e assim sucessivamente. O mesmo deve ocorrer com todas as partículas elementares existentes.

Apesar da simplicidade essas hipóteses não podem ser descartadas. Aliás, o requisito da simplicidade é uma quase exigência nos trabalhos dos físicos teóricos, e o que aqui foi exposto desnecessita de duas das mais complicadas teorias da física moderna, que são a Relatividade Generalizada e a Mecânica Quântica.

§ 4 – Experiências antigas para determinar G

O valor de G é ainda muito pouco conhecido. De 1798 a 1982 foram obtidos, por diversos métodos, pelo menos 19 valores distintos para G (tabela 1), desde $6,465 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ até $6,754 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$, havendo predominância de valores cujos dois primeiros dígitos significativos são iguais a 6,6. A média destes valores mais predominantes é igual a

$$\bar{G} = 6,664 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}, \quad (17)$$

enquanto as mais recentes determinações de G o considerem como sendo ligeiramente superior a $6,670 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$. Curioso o fato de que o número 6,664 em (17) aparece também no livro Osada^[10], escrito em 1970, para explicar a equação de gravitação de Einstein (com exceção do erro de unidades).

Beams e outros^[11] introduziram, em 1969, um novo método, atestado por eles como o de melhor precisão existente até então, e obtiveram o valor $6,674 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ para a constante gravitacional. A última referência sobre G^[12] o trona igual a $6,67260 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$, com uma incerteza de 100 partes por milhão.

Todas as experiências têm dois pontos em comum:

- 1) utilizam uma massa grande para interagir com uma massa pequena;
- 2) seus resultados diferem dos demais, certamente por falta de padronização nos experimentos (até 1982).

Heyl, um dos únicos a usar diferentes materiais (para as massas pequenas), e mesmo assim por acidente, no seu trabalho de 1930^[13] relatou 3 valores distintos para G, cada um para um tipo diferente de material:

$$\begin{aligned} G_1 (\text{aço-ouro}) &= 6,678 \pm 0,003; \\ G_2 (\text{aço-platina}) &= 6,664 \pm 0,002; \\ G_3 (\text{aço-vidro ótico}) &= 6,674 \pm 0,002; \end{aligned} \quad (18)$$

mas deu para G o valor final $(6,670 \pm 0,005) \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$.

A partir de (16) obtém-se

$$\frac{G}{G'} = \frac{(m_p + q_1' m_n) (m_p + q_2' m_n)}{(m_p + q_1 m_n) (m_p + q_2 m_n)}, \quad (19)$$

onde o ´ (linha) indica dados da interação de outro par de corpos.

A equação (19) está em bom acordo com os valores G_1 e G_2 de Heyl ($1,00210 \approx 1,00240$), supondo que o aço utilizado (90% de carbono) era constituído inteiramente de ferro. A relação para o vídeo ótico não foi testada porque não há referências sobre a sua constituição.

Pontikis^[14] também usou diferentes materiais (para as massas grandes, fixas), mas não explicitou a constituição das pequenas. Suas massas grandes foram o cobre ($q \approx 1,207$), prata ($q \approx 1,298$), chumbo ($q \approx 1,524$) e bronze. Analisando-se os 10 valores de G para cada material registrado por ele (excetuando-se o bronze, uma liga de composição não homogênea) conclui-se que obedecem na maioria dos casos a relação entre G e q de proporcionalidade inversa, i.e.,

$$G_{Cu} \geq G_{Ag} : 60\% \text{ dos casos};$$

$$G_{Ag} \geq G_{Pb} : 80\% \text{ dos casos}; \quad (20)$$

$$G_{Cu} \geq G_{Pb} : 80\% \text{ dos casos};$$

mas os valores médios para cada um dos G são iguais até o quarto dígito significativo (6,671), que dificilmente concordaria com (19).

O aspecto psicológico pode ter influenciado Pontikis durante o período de medições, forçando-o a obter um valor constante para G e superior a $6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$, se era isto que pretendia. Foi ele o segundo a utilizar o método da ressonância, e na primeira vez da utilização deste método obteve-se um valor inferior (6,659) ao comumente aceito.

Na tabela 1 vão alguns dos valores já obtidos para G até 1982, extraídos da Enciclopédia Britânica, "Gravitation", 1974 e 1990, de um artigo de Beams^[15] e de Cook^[16]. A esta tabela poderiam ser acrescentados os obtidos por métodos gravimétricos, de minas e astronômicos, mas são de questionável precisão e complexa interpretação.

Tabela 1 – Valores de G

<u>Cientista</u>	<u>Ano</u>	<u>Método</u>	<u>G (x10⁻¹¹)</u>
1. Cavendish	1798	Torção (deflexão)	6,754
2. Reich	1838	Torção (deflexão)	6,61
3. Baily	1842	Torção (deflexão)	6,475
4. von Jolly	1881	Balança comum	6,465
5. Wilsing	1889	Metrônomo	6,596
6. Poynting	1891	Balança comum	6,698
7. Boys	1895	Torção (deflexão)	6,6576
8. Braun	1896	Torção (defl./osc.)	6,6579
9. von Eötvös	1896	Torção (oscilação)	6,65
10. Richarz	1898	Balança comum	6,685
11. Burgess	1901	Torção (deflexão)	6,64
12. Crémieu	1909	Torção (deflexão)	6,67
13. Heyl	1930	Torção (oscilação)	6,670
14. Zahradnicek	1932	Ressonância	6,659
15. Heyl e Chrzanowski	1942	Torção (oscilação)	6,673
Cook ^[17]	1968	Preparativos	-
16. Beams <i>et al</i>	1969	Mesa rotatória	6,674
17. Pontikis	1972	Ressonância	6,6717
18. Sagitov <i>et al</i>	1979	Torção (oscilação)	6,6745
19. Luther e Towler	1982	Torção (oscilação)	6,6726

§ 5 – Conclusão

De acordo com a teoria, a gravitação é um efeito elétrico produzido por átomos, os elementos infinitesimais reais de Newton. Embora não seja uma teoria definitiva da atração e repulsão, a partir dela é possível concluir que a gravidade não pode ser sempre atrativa, e entre a máxima atração e a máxima repulsão deve existir todo um intervalo possível de valores para G, de negativos a positivos. Sua identificação dependerá ainda de experiências, nas quais o tamanho dos corpos deverá merecer tanta atenção quanto as distâncias, composição química e massas.

Será inútil tentar construir teorias mais exatas enquanto não se souber detalhadamente sobre o fenômeno em questão. Generalizar imediatamente conclusões obtidas com experiências envolvendo massas específicas de 0,1 g ou 100 kg para todos os corpos celestes e materiais de propriedades incomuns deve ser considerado como falta de rigor.

A teoria vigente dos campos de gravitação afirma que “esses campos gozam da propriedade básica de que todos os corpos se movem da mesma maneira no campo, independente da massa ou da carga, desde que as condições iniciais sejam as mesmas” (Landau e Lifchitz, vol.2, § 81), que seria o mesmo que afirmar que se um gigante alado aproximasse vagarosamente o

Sol da Terra e o abandonasse este cairia com uma aceleração de $9,8\text{m/s}^2$, mas será ruim para a ciência acreditar nisto por mais tempo (e não pelo fato dela não prever quantas espécies vivas seriam extintas).

Mesmo que venha a se mostrar incorreta, no todo ou em parte, espero que pelo menos as críticas daqui feitas levem a uma compreensão melhor do que possa ser uma carga, e que um dia, finalmente, sejam justificadas as “Notas Autobiográficas” de Albert Einstein, onde nelas escreveu: “Esta exposição terá alcançado o seu propósito se conseguir mostrar como os esforços de toda uma vida se combinam e por que levam a determinadas expectativas.”

Agradecimentos – Ao professor Henrique Fleming, pelos comentários quase diários e incentivo. Ao professor Giorgio Moscati, por me indicar os artigos referentes à queda de elétrons em dispositivos especiais (aqui não mencionados). Ao meu filho João Vítor, pela digitação do texto (24-07-2014).

Referências

- 1 – Lorentz, H.A., Einstein, A. e Minkowski, H., “O Princípio da Relatividade”, Textos Fundamentais da Física Moderna, volume I, Fundação Calouste Gulbenkian.
- 2 – Fernandes, N.C., “Física e Aritmética”, § 4, preprint IFUSP/P-927, julho/1991.
- 3 – Savéliev, I.V., “Curso de Física General”, vol. 1, § 45, Ed. Mir.
- 4 – Feynman, R.P., “O que é uma lei física?”, Cap. I, col. Ciência Aberta, vol. 35, Ed. Gradiva Ltda.
- 5 – Matveev, A.N., “Eletricidad y Magnetismo”, cap. 1.3, Ed. Mir.
- 6 – Jackson, J.D., “Eletrodinâmica Clássica”, caps. 1.1 e 11.9, Ed. Guanabara Dois S.A.
- 7 – von Eötvös, R., Pekar, D. e Fekete, E., Annalen der Physik, vol. 68, no. 1, pgs. 11-66, 1922.
- 8 – Wilson, A.H., Physical Review, vol. 20, no. 1, pgs. 75-77, julho, 1922.
- 9 – Roll, P.G., et al., Annals of Physics, vol. 26, pgs. 442-517, 1964.
- 10 – Osada, J., “Evolução das ideias da física”, cap. 6.3, Ed. Edgard Blücher Ltda. E EDUSP.
- 11 – Rose, R. D. et al., Physical Review Letters, vol. 23, no. 12, pgs. 655-658, setembro, 1969.
- 12 – “Symbols, Units and Nomenclature in Physics (IUPAP)”, preparado por E. Richard Cohen e Pierre Giacomo, 1986.
- 13 – Heyl, P.R., Journal of Research N.B.S (U.S.), vol. 5, pgs. 1243-1290, 1930.
- 14 – Pontikis, C., Comptes Rendus Acad. Sc. Paris, série B, vol. 274, pgs. 437-440, 1972.
- 15 – Beams, J.W., Physics Today, maio, pgs. 35-40, 1971.
- 16 – Cook, A.H., Reports on Progress in Physics, vol. 51, no. 5, pgs. 707-757, 1988.
- 17 – Cook, A.H., Contemporary Physics, vol. 9, no. 3, pgs. 227-238, 1968.