

# Um novo valor para a anomalia de Mercúrio (A new value for the anomaly of Mercury)

Valdir Monteiro dos Santos Godoi

[valdir.msgodoi@gmail.com](mailto:valdir.msgodoi@gmail.com)

**RESUMO** – Abandonamos a hipótese do vento solar e obtemos um novo valor para a anomalia da precessão secular do periélio de Mercúrio. O valor teórico da precessão secular total do periélio de Mercúrio, segundo a obra de 1859 de Le Verrier, é apenas cerca de 8'' a menos que o valor observado citado por Weinberg (em referência a Clemence e Duncombe). A hipótese da influência dos satélites no cálculo da precessão, antes abandonada, deve voltar, já que 1'' não é mais tão insignificante quando comparado com 8''.

**ABSTRACT** – Abandon the hypothesis of the solar wind and obtain a new value for the anomaly of the secular precession of the perihelion of Mercury. The theoretical value of the total secular precession of the perihelion of Mercury, according to the work of Le Verrier 1859, is only about 8'' unless the observed value quoted by Weinberg (in reference to Duncombe and Clemence). The hypothesis of the influence of the satellites in the calculation of precession, previously abandoned, should return, since 1'' is not so insignificant compared to 8''.

**Palavras-chave:** massa, vento solar, Mercúrio, satélites, precessão, periélio, Le Verrier, Newcomb, Lorentz, Relatividade.

**Keywords:** mass, solar wind, Mercury, satellites, precession, perihelion, Relativity, Le Verrier, Newcomb, Lorentz, Relativity.

## 1 - Introdução

Em “*Théorie du Mouvement de Mercure*”, de 1859<sup>[1]</sup>, as massas de Urano e Netuno não estão explicitamente descritas, ao contrário de “*Variations Séculaires des Éléments des Orbites des Quatre Planetes – Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune*”, de 1876<sup>[2]</sup>. Em [2] também são fornecidas outras massas para Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, o que nos faz recalculer os valores da precessão do periélio de Mercúrio que obtivemos em [3].

A tabela 1 a seguir fornece os novos valores de  $v$ , que servem de parâmetros para o cálculo da precessão. As massas referentes a Newcomb são dadas em [4], e estão novamente anotadas aqui para compararmos seus valores. Antes as massas de Vênus eram iguais, e neste novo estudo já não são mais.

Planeta	Massa (kg)	$m^{-1} = (M_p/M_s)^{-1}$	Le Verrier	Newcomb	$v''$
Mercúrio	$3,3022 \times 10^{23}$	6 023 560,05	4 317 000	7 500 000	0,7167
Vênus (I)	$4,8685 \times 10^{24}$	408 565,27	412 150	401 847	0,008774
Terra (II)	$5,9736 \times 10^{24}$	332 981,79	324 439	327 000	-0,02566
Marte (III)	$6,4174 \times 10^{23}$	3 099 541,87	2 812 526	3 093 500	-0,09260
Júpiter (IV)	$1,8986 \times 10^{27}$	1 047,67	1 050	1 047,88	0,002224
Saturno (V)	$5,6846 \times 10^{26}$	3 499,10	3 512	3 512	0,003687
Urano (VI)	$8,6810 \times 10^{25}$	22 913,26	24 000	24 000	0,04743
Netuno (VII)	$1,0243 \times 10^{26}$	19 419,12	14 400	14 400	-0,2585

Tabela 1 – Massa dos planetas do sistema solar ( $M_p$ ) em kg e em relação à massa do Sol ( $M_s = 1,9891 \times 10^{30}$  kg). Os algarismos romanos são os índices superiores comumente usados nas equações do movimento planetário.

Os valores de  $v$ , arredondados no 4º algarismo significativo, são obtidos através da equação

$$m_{\text{atual}} = m_{\text{Le Verrier}} (1 + v) \quad (1.1)$$

ou

$$v = \frac{m_{\text{atual}}}{m_{\text{Le Verrier}}} - 1, \quad (1.2)$$

onde  $m$  é a razão entre a massa do planeta ( $M_p$ ) e a massa do Sol ( $M_s$ ),

$$m = \frac{M_p}{M_s}. \quad (2)$$

Vimos anteriormente em [6] que Le Verrier formula a relação

$$288'' v' + 87'' v'' = 38,3'' \quad (3)$$

para explicar a precessão secular do periélio de Mercúrio, calculada em  $38,3''$  na época, ou melhor dizendo, como uma possibilidade para a causa desta precessão: uma variação nas massas de Vênus ( $v'$ ) e Terra ( $v''$ ).

Utilizando os novos valores de  $v'$  e  $v''$  para as massas adotadas por Le Verrier em [2], conforme tabela 1, obtemos

$$288'' v' + 87'' v'' = 0,294492'', \quad (4)$$

ou seja, bem inferior aos 38'' ou 43'' procurados, e ainda menor que o calculado anteriormente em [3]. Isto vem sugerir que as massas foram melhor ajustadas.

Utilizando os mesmos coeficientes que os dados em [1], obtemos para o produto da excentricidade  $e$  e o deslocamento anual do periélio de Mercúrio o valor

$$e\delta\varpi = +1,08386 + 0,57704 v^I + 0,17191 v^{II} + 0,00587 v^{III} + 0,31375 v^{IV} + 0,01489 v^V + 0,0028 v^{VI} + 0,00012 v^{VII} = +1,0845626'', \quad (5)$$

onde  $e$  é o valor da excentricidade,  $\varpi$  a longitude do periélio e  $\delta\varpi$  a variação angular da longitude do periélio de Mercúrio, novamente menor que o obtido em [3].

Adotando  $e = 0,2056$  para o valor da excentricidade da órbita de Mercúrio vem

$$\delta\varpi = 5,27511'' \quad (6)$$

para o valor anual da precessão do periélio, ou velocidade angular anual da longitude do periélio de Mercúrio. Multiplicando-o por 100 obtemos

$$\delta\varpi_{sec} = 527,511'', \quad (7)$$

apenas 0,8'' superior ao valor final anotado para o movimento secular do periélio de Mercúrio, na página 99 de [1], 526,7'', sem contar a rotação da própria Terra.

Se fizermos  $v^I = v^{II} = \dots = v^{VII} = 0$  em (5), para  $e = 0,2056$ , obteremos  $\delta\varpi = 527,04''$ , que truncado para número inteiro é exatamente igual ao valor obtido por Le Verrier em 1841, conforme anotado na mencionada página 99: 527''.

Le Verrier também nos fornece um valor para a longitude teórica do periélio que é variável no tempo, contendo um termo de 2° grau, válido a partir de 1° de janeiro de 1850 e sendo o ano juliano igual a 1850 + t:

$$\varpi = 75^{\circ}7'1'',03 + 55'',5308 t + 0'',0001111 t^2 + 2'',8064 v^I t + 0'',8361 v^{II} t + 0'',0255 v^{III} t + 1'',5259 v^{IV} t + 0'',0724 v^V t + 0'',0014 v^{VI} t + 0'',0006 v^{VII} t. \quad (8)$$

Para  $t = 100$  anos julianos e os ajustes de massa  $v$  dados na tabela 1 encontramos

$$\delta\varpi = 5553,6291''. \quad (9)$$

Vemos assim que as “novas” massas tiveram o efeito de diminuir os valores que obtivemos anteriormente para estas precessões, o que aumenta ainda mais a diferença entre o valor observado ( $5600,73'' \pm 0,41''$ )<sup>[5]</sup> e o calculado, ficando em

$$\varpi_{obs} - \varpi_{teórico} = 47,10'' . \quad (10)$$

Conforme fizemos anteriormente, se adotarmos  $v^I = v^{II} = \dots = v^{VII} = v$  e igualarmos o valor teórico (8) com o observado,

$$5554,1911'' + 526,83'' v = 5600,73'' , \quad (11)$$

o valor de  $v$  que ajustará as massas convenientemente é

$$v = 0,0883376, \quad (12)$$

i.e., todas as massas dos planetas do Sistema Solar (de Vênus a Netuno) deverão sofrer um pequeno aumento da ordem de +8,8%.

## 2 – O Vento Solar

Em [6], nossa hipótese do vento solar, que observa que o vento solar corresponde a uma perda contínua de massa do Sol, que conseqüentemente aumentaria o valor da razão (2), ou supondo-a constante em teoria deveria necessariamente aumentar periodicamente os ajustes  $v$  devidos aos resultados observacionais, verificamos que a taxa de perda de massa do Sol foi calculada inicialmente como de  $10^{14}$ - $10^{15}$  g/s<sup>[7]</sup>. Um estudo mais atual<sup>[8]</sup> diminui essa taxa para

$$\begin{aligned} \frac{dM_S}{dt} &= 3,0 \cdot 10^{-14} M_S / \text{ano} = 5,9673 \cdot 10^{16} \text{ kg/ano} \\ &\approx 2 \cdot 10^{12} \text{ g/s} , \end{aligned} \quad (13)$$

onde fizemos 1 ano =  $365,25 \times 24 \times 60 \times 60$  s = 31.557.600 s e  $M_S = 1,9891 \times 10^{30}$  kg.

Qual o efeito da taxa acima no deslocamento do periélio de Mercúrio? O valor de  $v$  para cada planeta deve aumentar, pela diminuição do valor de  $M_S$  em (2), então  $\delta\varpi$  deve aumentar, supondo  $v > 0$ . Se  $v < 0$  seu valor diminuiria em módulo, o que também faria  $\delta\varpi$  aumentar. O cálculo para  $v$  relativo a um ano está abaixo:

$$m = \frac{M_p}{M_S - \Delta M_S} = \frac{M_p}{M_S} (1 + v) \quad (14.1)$$

$$v = \frac{\Delta M_S}{M_S - \Delta M_S} \approx \frac{\Delta M_S}{M_S} \quad (14.2)$$

$$v \approx \frac{5,9673 \cdot 10^{16}}{1,9891 \cdot 10^{30}} = 3 \cdot 10^{-14} \quad (14.3)$$

valor que independe da massa do planeta.

O valor de  $v$  obtido em (14.3) não é suficiente para explicar a precessão do periélio de Mercúrio, nem se o multiplicarmos por 100, o correspondente à variação de um século. O que obtivemos em (12), embora pequeno, é muito grande quando comparado com este  $v$ .

Concluimos então que o vento solar, embora um fenômeno verdadeiro, interessante e cosmologicamente importante, não é forte o suficiente para produzir a precessão do periélio de Mercúrio. Não com os coeficientes que utilizamos, e também não sem nos preocuparmos com efeitos termodinâmicos, eletromagnéticos e de partículas.

Há, entretanto, algo mais “forte” que a hipótese do vento solar, uma espécie de hipótese zero, cuja explicação está dentro da obra de Le Verrier.

### 3 – O novo valor da anomalia

Uma descoberta feliz que me ocorreu recentemente, em 09/08/2014, no sábado véspera dos dias dos pais, foi perceber, na página 107 de Le Verrier<sup>[1]</sup>, seção V, Tabelas Gerais do Movimento de Mercúrio, as seguintes fórmulas para a longitude média  $L$  e as longitudes  $\varpi$  e  $\theta$  do periélio e nodo ascendente em função do ano  $t$  em (1850 +  $t$ ) julianos, a partir do meio-dia de 1° de janeiro de 1850:

$$L = 327^{\circ}15'20'',43 + 5\,381\,066'',544\,9\,t + 0'',000\,112\,89\,t^2, \quad (15)$$

$$\varpi = 75^{\circ}7'13'',93 + 55'',913\,8\,t + 0'',000\,111\,1\,t^2, \quad (16)$$

$$\theta = 46^{\circ}33'8'',75 + 42'',643\,0\,t + 0'',000\,0835\,5\,t^2. \quad (17)$$

Estas equações acima não usam mais os parâmetros  $v$  de ajustes de massa, que constam em (5) e (8), equações encontradas nas seções I e II, pois são os resultados de todos os cálculos feitos e ajustados para todos os elementos, ao longo do estudo de Le Verrier sobre Mercúrio.

No caso que nos interessa, da longitude do periélio  $\varpi$ , em  $t = 100$  anos julianos (1 ano juliano =  $365\frac{1}{4}$  dias) a longitude  $\varpi$  do periélio avançará em relação à data inicial  $t = 0$  (ao meio-dia)

$$\delta\varpi_{\text{teórico}} = (5591,38 + 1,111)'' = 5592,491'', \quad (18)$$

que dista apenas

$$\delta\varpi_{\text{obs}} - \delta\varpi_{\text{teórico}} = 8,24'' \quad (19)$$

do valor total observado para esta precessão:

$$\delta\varpi_{\text{obs}} = (5.600,73 \pm 0,41)''^{[5]}. \quad (20)$$

Na página 109 de [1] há um resumo dos valores para as três longitudes  $L$ ,  $\varpi$  e  $\theta$ , conforme tabela 2 a seguir.

Período	Longitude Média $L$	Longitude do Periélio $\varpi$	Longitude do Nodo $\theta$
1 dia	4° 5' 32",5573	0",153	0",117
365 dias	53° 43' 3",4056	55",876	42",614
366 dias	57° 48' 35",9629	56",029	42",731
4 anos com 1 bissexto	218° 57' 46",1796	3' 43",655	2' 50",572
20 anos com 5 bissextos	14° 48' 50",8980	18' 38",276	14' 12",860
100 anos julianos	74° 4' 14",4900	1° 33' 11",380	1° 11' 4",300
100 anos julianos menos 1 dia	69° 58' 41",9327	1° 33' 11",227	1° 11' 4",183

Tabela 2 – Valores das longitudes  $L$ ,  $\varpi$  e  $\theta$  para 7 períodos diferentes.

Nota-se que, dentre outros valores, os 100 anos julianos da tabela 2 registrados para  $\varpi$ , correspondentes a 1° 33' 11",380 = 5.591",38, foram calculados sem levar em consideração o termo de 2° grau que aparece em (16).

O valor de 38,3" calculado por Le Verrier é igual, aproximadamente, à diferença entre a precessão de 47,10" calculada em (10) e os 8,24" obtidos em (19): 47,10" - 8,24" = 38,86", uma diferença de cerca de 0,5".

O que isto significa? O valor observado que Le Verrier possuía era outro, não os 5.600" que usamos hoje, mas (possivelmente) 30,06" a mais, conforme indicado no sistema abaixo:

$$\begin{cases} \varpi_{\text{observado}}^{\text{LeVerrier}} - \varpi_{\text{teórico}}^{\text{LeVerrier}} = 38,3'' \\ \varpi_{\text{observado}}^{\text{Weinberg}} - \varpi_{\text{teórico}}^{\text{LeVerrier}} = 8,24'' \end{cases} \quad (21)$$

$$\varpi_{\text{observado}}^{\text{LeVerrier}} - \varpi_{\text{observado}}^{\text{Weinberg}} = 30,06''$$

Ou seja,

$$\varpi_{\text{observado}}^{\text{LeVerrier}} = 5.630,79'' \quad (22)$$

Consideramos que o valor de Le Verrier teórico está correto, em ambas as equações do sistema (21), e o que não estava correto na época era seu valor observado, embora esta conclusão não é o mais importante, e pode ser apenas aproximada.

#### 4 - Conclusão

Ainda temos 8,24'' para explicar, que conforme já comentei entusiasticamente em [9], podem ser devidos aos satélites (por volta de 1'')<sup>[10]</sup>, às imprecisões na obtenção das massas planetárias, em especial Mercúrio, e às conhecidas limitações dos cálculos numéricos.

Será preciso recalcular os coeficientes que estão em (5) e (8), levando-se em conta as massas que hoje consideramos como verdadeiras para os planetas do Sistema Solar. Espero uma correção ou atualização destes coeficientes em próximo artigo, quando será estudada a *Mécanique Céleste*.

Também temos as hipóteses da latitude dos observatórios astronômicos, que deverá ser responsável não mais por 43'', e sim apenas por volta de 7'' a 9'', e a solução exata do problema dos N corpos.

Mencionaremos ainda uma hipótese mais antiga, de Lorentz (dentre outras possíveis). Conforme nos conta Poincaré<sup>[11]</sup>, Lorentz criou uma hipótese sobre a deformação do elétron em função da velocidade. Não era como a força de Weber, que também depende da velocidade, e sim parecendo-se mais com a contração de Lorentz, da Relatividade Restrita. Como Mercúrio é o planeta de maior velocidade, a verificação experimental dessa teoria seria mais sensível para ele. Essa teoria também seria uma unificação entre eletromagnetismo e gravitação, e responsável por 7'' da precessão secular para Mercúrio, ou seja, próximo do valor que calculamos em (19). Curiosamente, esta teoria foi abandonada pelo próprio Lorentz porque não poderia haver atração sem absorção da luz, e por conseguinte produção de calor. Poincaré nos diz que a temperatura da Terra deveria aumentar 10<sup>43</sup> graus por segundo (creio que este cálculo é do próprio Poincaré, não de Lorentz). Outra razão também seria porque não era capaz de explicar os 38'' supostos na época, mas aqui mostramos que o valor da precessão é bem menor, de pouco mais de 8''. Observamos que o nome elétron naquela época era dado tanto às cargas positivas quanto às negativas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Le Verrier, U.J., *Theorie du Mouvement de Mercure*, Annales de L'Observatoire Impérial de Paris, Recherches Astronomiques, tome V, chapitre XV (1859).
2. Le Verrier, U.J., *Variations Séculaires des Éléments des Orbites des Quatre Planètes – Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune*, Annales de L'Observatoire Impérial de Paris, Recherches Astronomiques, tome XI, chapitre XIX (1876).
3. Godoi, V.M.S., *As Massas dos Planetas do Sistema Solar*, <http://vixra.org/abs/1408.0027> (2014).
4. Newcomb, S., *Discussion of Observed Transits of Mercury, 1677 to 1881*, Astronomical Papers of the American Ephemeris and Nautical Almanac (1882), em [www.relativitycalculator.com/pdfs/mercury\\_perihelion\\_advance/S.Newcomb.pdf](http://www.relativitycalculator.com/pdfs/mercury_perihelion_advance/S.Newcomb.pdf)
5. Weinberg, S., *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*, pp. 198-199. New York: John Wiley & Sons, Inc. (1972).

6. Godoi, V.M.S., *Solar Wind: Refining a Hypothesis About the Precession of the Perihelion of Mercury*, em <http://www.vixra.org/abs/1407.0160> (2014).
7. Parker, E. N., "[Dynamics of the Interplanetary Gas and Magnetic Fields](#)", *Astrophysical Journal*, vol. 128, p.664 (1958).
8. Maciel, W.J., *Hidrodinâmica e Ventos Estelares: Uma Introdução*, São Paulo: Edusp (2005).
9. Godoi, V.M.S., *Finding in Le Verrier, Theoretically, the 5600'' Observed by Weinberg*, <http://www.vixra.org/abs/1408.0066> (2014).
10. Godoi, V.M.S., *Estimating the Influence of the Satellites in the Precession of the Perihelion of Mercury*, <http://vixra.org/abs/1407.0097> (2014).
11. Poincaré, H., *A Dinâmica do Elétron*, em *Ensaio Fundamentais*, Rio de Janeiro: editora PUC do Rio (2008).