

SOBRE LA ORBITA DE PHOEBE, NOVENO SATELITE DE SATURNO

R.B. ORELLANA

Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de
La Plata

Abstract: A new orbit has been determined by means of 125 observations made between 1904 and 1971.

Key words: Celestial Mechanics, Astrometry, Saturn, Satellite.

INTRODUCCION

En 1899 Pickering, examinando placas obtenidas en Arequipa, detecta un noveno satélite a Saturno y encuentra por métodos gráficos los elementos de Phoebe, nombre con que se designó a dicho satélite.

En 1905 Ross establece que el movimiento es retrógrado y, teniendo en cuenta las perturbaciones solares, determina los elementos orbitales con una serie de observaciones que se extienden desde 1899 a 1904.

En 1954 Zadunaisky, utilizando un total de 12 observaciones que van de los años 1907 a 1942, determina nuevos elementos para la órbita de Phoebe. La precisión obtenida con los mismos es superior a la dada por la órbita de Ross, aunque actualmente la American Ephemeris continúa determinando la posición de Phoebe respecto de Saturno con aquellos elementos.

En estos momentos se ha determinado una nueva órbita a Phoebe aplicando el mismo procedimiento que el realizado por Zadunaisky, con la única diferencia que el intervalo de tiempo de las observaciones utilizadas abarca un período de 67 años, el cual se extiende entre 1904 y 1971 con un total de 125 observaciones. Los residuos obtenidos con estos nuevos elementos dan muestra de una mejora sobre aquellos de la órbita de Zadunaisky.

SELECCION Y REDUCCION DE LAS OBSERVACIONES

Se recopilaron unas 250 observaciones que se extendían desde 1899 hasta 1971. Como la precisión no era la misma en todas, se eliminaron aquéllas cuya posición fuera inferior a $0^{\text{S}}01$ en AR y $0^{\text{I}}1$ en declinación. Quedaron así 139 observaciones dadas en diferentes sistemas. Las elegidas por nosotros eran: aparente topocéntrica, medio topocéntrica a comienzo de año y medio topocéntrica para 1950.0; debimos uniformarlas y lo hicimos a aparente geocéntrica. Estas posiciones fueron utilizadas para comparar con la calculada, pero 14 de ellas dejaban residuos que no estaban de acuerdo con las demás; eran observaciones realizadas por Van Biesbroeck en 1956. Hicimos averiguaciones sobre las mismas y nos informaron que éstas, junto con otras observaciones de la misma época, no

se ajustaban a lo esperado. De esta manera, nos quedaron solamente 125 observaciones que fueron las que se utilizaron para corregir los elementos.

OBTENCION DE LA POSICION CALCULADA Y SOLUCION DE MINIMOS CUADRADOS

Para la corrección de los elementos es necesario contar con una posición calculada a fin de comparar con la observada. El procedimiento para obtener dicha posición fue similar al de Ross quien calcula las perturbaciones solares aplicando la teoría de Delaunay para la Luna, ya que la acción del Sol sobre el sistema Saturno-Phoebe no difiere mucho del sistema Tierra-Luna, y las constantes que definen la órbita son muy parecidas, salvo en que el movimiento es retrógrado. La teoría de Delaunay en este caso se ve grandemente simplificada porque la posición saturnocéntrica requerida no necesita ser tan precisa como la de la Luna con respecto a la Tierra, puesto que un error en la misma visto desde la Tierra, se reduce en un factor 80 aproximadamente. Una vez calculada la posición se pasó a determinar la variación de los elementos, resolviéndose un sistema de ecuaciones por mínimos cuadrados de la misma manera que Zadunaisky, en el cual se supone que la diferencia en latitud y longitud entre ambas posiciones se debe a una variación de todos los elementos ($\epsilon, n, e, i, \Omega, \pi, \rho, q$). De esta manera resulta un único sistema de 8 incógnitas que tiene dos ecuaciones para cada observación, una por longitud y otra por latitud. De la resolución de este sistema se obtienen los siguientes valores

$$\begin{aligned} \delta E_0 &= -0.593879 \\ \delta n &= -0.000041362/\text{m.s. días} \\ \delta \psi &= +0.070155 \\ \delta \pi_0 &= -2.858118 \\ \delta \rho &= -0.082511/\text{año Juliano} \\ \delta i &= +0.066263 \\ \delta \Omega_0 &= -0.494218 \\ \delta g &= -0.003668/\text{año Juliano} \end{aligned}$$

ELEMENTOS ORBITALES

Los nuevos elementos para la época 1950 enero 1.0 UT = 2433282.5 día Juliano son

$$\begin{aligned} E &= 277.2781 - 0.65414816 t \\ e &= 0.164468 \\ \pi &= 277.3069 - 0.278371 T \\ i &= 174.0153 - 0.020 T \\ \Omega &= 245.5038 + 0.409862 T \\ a &= 0.08657155 \text{ unidades astronómicas} \end{aligned}$$

Con estos valores se obtuvo una nueva posición calculada, con la cual se realizó la Tabla I de residuos.

TABLA I. Observaciones geocéntricas de Phoebe y diferencia entre coordenadas observadas y calculadas.

DIA JULIANO	POSICION APARENTE OBSERVADA		RESIDUOS	
	α	δ	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
2416791.58676	21 ^h 8 ^m 25 ^s .09	-17° 40' 29".8	0 ^s .23	1.2"
2416792.59047	21 8 32.21	-17 39 56.1	0.34	-0.2
2416793.58413	21 8 39.50	-17 39 18.5	0.28	1.0
2416794.58889	21 8 46.89	-17 38 40.8	-0.18	0.0
2416795.58879	21 8 55.47	-17 37 59.0	0.18	1.5
2417004.89852	22 22 38.35	-11 38 42.3	0.00	1.6
2417005.89480	22 22 41.58	-11 38 38.5	-0.01	0.6
2417006.89281	22 22 44.31	-11 38 35.6	-0.12	1.2
2417093.82901	22 7 31.68	-13 18 40.4	-0.16	4.7
2417094.81163	22 7 15.44	-13 20 12.5	-0.28	3.6
2417110.65965	22 3 14.87	-13 42 23.1	-0.15	1.2
2417111.69675	22 3 0.92	-13 43 37.9	-0.03	1.9
2417122.79471	22 0 47.60	-13 55 19.0	-0.27	0.9
2417145.65022	21 58 18.66	-14 7 8.0	-0.21	4.1
2417148.59162	21 58 13.45	-14 7 21.9	-0.17	4.0
2417196.57862	22 4 26.86	-13 30 3.6	-0.16	0.5
2417410.89346	23 5 12.72	-7 59 31.1	-0.23	0.4
2417411.89326	23 5 5.52	-8 0 29.2	-0.33	-0.7
2417412.89191	23 4 58.14	-8 1 28.4	-0.29	-0.8
2417437.87453	23 0 22.23	-8 34 26.1	-0.12	0.0
2417439.88779	22 59 53.82	-8 37 38.4	-0.07	-0.7
2417440.76716	22 59 40.46	-8 39 7.8	0.06	0.1
2417560.60355	22 47 48.49	-9 41 54.4	-0.05	1.2
2417562.56173	22 48 15.25	-9 38 54.8	-0.13	1.3
2417798.47404	23 50 53.21	-3 34 28.9	-0.52	-5.0
2417799.47702	23 50 41.07	-3 35 59.8	-0.40	-1.4
2417806.47697	23 49 7.83	-3 47 43.8	-0.39	-2.5
2417807.48720	23 48 53.35	-3 49 31.4	-0.37	-3.0
2417817.41202	23 46 19.29	-4 8 3.9	-0.31	-3.7
2417821.40603	23 45 12.23	-4 15 53.6	-0.32	-2.4
2417828.44028	23 43 9.46	-4 30 1.1	-0.14	-2.8
2417829.44170	23 42 51.68	-4 32 1.4	-0.06	-1.6
2417851.39226	23 36 21.70	-5 14 35.3	0.00	-1.4
2417853.40339	23 35 47.98	-5 18 6.9	0.06	-1.1
2417857.39774	23 34 42.93	-5 24 50.3	0.05	-1.0
2417861.32614	23 33 41.98	-5 31 1.0	0.01	-0.3
2417879.30580	23 29 55.18	-5 52 44.5	-0.03	0.4
2417913.22012	23 28 4.66	-5 56 56.2	-0.31	-0.1

TABLA I. Continuación.

DIA JULIANO	POSICION APARENTE OBSERVADA		RESIDUOS	
	α	δ	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
2417915.22042	23 ^h 28 ^m 12. ^s 87	-5° 55' 35.1"	-0. ^s 30	-1.2"
2417916.22760	23 28 17.70	-5 54 49.0	-0.22	-0.4
2418151.88910	0 43 30.38	2 1 10.4	-0.05	-0.4
2418152.89371	0 43 28.08	2 0 38.2	-0.12	-0.4
2418154.50926	0 43 23.77	1 59 43.2	-0.01	1.4
2418155.51476	0 43 20.46	1 59 3.7	-0.08	0.4
2418156.50401	0 43 16.86	1 58 23.9	-0.11	0.8
2418157.50458	0 43 12.92	1 57 41.5	-0.05	1.4
2418178.46434	0 40 26.34	1 34 20.9	-0.05	0.8
2418179.46328	0 40 14.73	1 32 53.1	-0.04	1.3
2418179.53433	0 40 13.83	1 32 45.8	-0.10	0.4
2418181.44666	0 39 50.79	1 29 54.0	-0.02	2.5
2418181.53952	0 39 49.66	1 29 43.6	0.00	0.7
2418182.45748	0 39 38.11	1 28 17.8	-0.05	0.8
2418182.53589	0 39 37.16	1 28 10.2	0.00	0.7
2418183.46969	0 39 25.11	1 26 41.3	-0.08	0.6
2418183.53128	0 39 24.33	1 26 37.5	-0.07	2.7
2418184.45286	0 39 12.27	1 25 6.8	-0.07	1.0
2418184.53064	0 39 11.27	1 25 0.5	-0.05	2.2
2418186.45581	0 38 45.42	1 21 49.7	0.09	1.6
2418187.45474	0 38 31.43	1 20 11.6	-0.04	4.3
2418187.51301	0 38 30.66	1 20 3.8	0.00	2.3
2418187.55857	0 38 30.05	1 19 59.0	0.04	2.1
2418189.44219	0 38 3.13	1 16 44.0	-0.05	1.0
2418189.50039	0 38 2.36	1 16 38.7	0.02	1.9
2418191.48707	0 37 33.10	1 13 8.4	0.00	1.0
2418192.51579	0 37 17.63	1 11 17.9	0.02	0.7
2418585.44571	1 21 10.40	5 35 44.4	0.09	3.3
2418585.47821	1 21 9.74	5 35 40.3	-0.03	2.4
2418586.47913	1 20 53.39	5 34 0.8	0.11	3.8
2418588.46929	1 20 20.28	5 30 38.7	0.08	2.7
2418601.41133	1 16 42.24	5 9 5.0	0.08	2.9
2418601.49237	1 16 41.03	5 8 58.8	0.22	4.5
2418616.36821	1 12 44.29	4 46 45.3	0.19	6.0
2418616.43091	1 12 43.23	4 46 36.9	0.06	2.6
2418641.29397	1 7 56.06	4 22 43.2	0.06	2.6
2418644.23458	1 7 34.96	4 21 21.5	0.00	2.6
2418675.26987	1 7 15.70	4 28 30.6	-0.08	2.8
2418682.25656	1 8 3.65	4 35 26.9	-0.02	1.6

TABLA I. Continuación.

DIA JULIANO	POSICION APARENTE OBSERVADA		RESIDUOS	
	α	δ	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
2418942.58270	2 ^h 13 ^m 48 ^s .48	10° 31' 29".4	-0.07	-0.7
2418943.46684	2 13 35.83	10 30 16.3	-0.20	-0.1
2418977.36224	2 4 8.31	9 38 40.1	-0.20	-1.1
2418977.43078	2 4 7.17	9 38 33.7	-0.15	-1.4
2418978.34286	2 3 51.33	9 37 13.1	-0.12	-1.1
2418978.40931	2 3 50.04	9 37 5.9	-0.25	-2.4
2418983.38200	2 2 25.01	9 29 58.3	-0.18	-1.8
2419746.55131	3 52 47.51	18 4 54.1	-0.21	-0.2
2419768.59096	3 46 42.34	17 50 17.3	-0.31	2.6
2420118.67247	4 51 43.41	20 46 43.6	-0.68	-0.3
2420123.72571	4 50 10.15	20 45 3.8	-0.58	-0.4
2423117.78970	12 23 12.96	0 21 39.5	0.24	0.3
2423117.85323	12 23 11.93	0 21 45.6	0.14	-0.3
2423164.58248	12 10 43.19	1 43 6.7	0.18	-1.9
2423164.60978	12 10 42.75	1 43 8.4	0.12	-2.5
2423167.57059	12 10 2.40	1 47 6.2	-0.19	0.5
2430616.79989	4 46 30.84	20 30 57.6	0.23	2.6
2430616.90615	4 46 31.26	20 30 57.6	-0.05	1.9
2430617.82292	4 46 37.10	20 31 2.6	0.01	1.8
2430617.88266	4 46 37.44	20 31 2.7	-0.01	1.6
2430618.82266	4 46 42.93	20 31 7.1	-0.01	1.5
2430639.77676	4 46 55.84	20 29 41.5	0.05	2.8
2430643.75452	4 46 34.68	20 28 47.0	0.06	3.3
2434103.49904	12 44 41.80	-1 48 21.7	-0.11	2.0
2434103.54198	12 44 41.07	-1 48 17.7	-0.07	1.3
2434118.46516	12 40 30.25	-1 22 11.2	-0.04	2.0
2434118.50810	12 40 29.54	-1 22 6.5	-0.06	2.5
2434127.46763	12 38 11.70	-1 8 25.4	0.04	2.0
2434131.46490	12 37 15.05	-1 2 59.7	-0.13	2.1
2434131.50784	12 37 14.58	-1 2 56.1	-0.01	2.4
2435966.33247	16 48 20.14	-20 35 28.9	-0.16	1.0
2435966.36468	16 48 19.56	-20 35 27.8	-0.23	1.1
2435966.40398	16 48 18.93	-20 35 26.6	-0.22	1.1
2435966.46429	16 48 17.97	-20 35 24.9	-0.20	1.1
2435987.36407	16 41 56.97	-20 24 9.3	-0.31	-1.0
2435987.44718	16 41 55.38	-20 24 6.5	-0.27	-1.1
2435988.34542	16 41 37.72	-20 23 34.9	-0.35	-0.4
2435988.42506	16 41 36.17	-20 23 31.9	-0.34	-0.1
2437104.83734	19 11 37.73	-22 2 44.0	-0.04	-1.3

TABLA I. Continuación.

DIA JULIANO	POSICION APARENTE OBSERVADA		RESIDUOS	
	α	δ	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
2437104.86746	19 ^h 11 ^m 37 ^s .12	-22° 2' 44".8	-0.507	-1.0
2440131.46363	1 32 15.51	6 42 38.9	-0.05	3.2
2440152.41132	1 25 47.88	6 3 47.1	-0.36	2.8
2440452.86221	2 28 20.97	11 56 29.5	-0.04	-3.5
2440474.83991	2 27 33.17	11 47 53.3	-0.50	-4.2
2440475.85829	2 27 27.01	11 47 14.6	0.04	1.6
2440563.61036	2 0 39.24	10 6 7.7	0.25	0.2
2440908.66269	3 5 35.03	14 46 24.0	-0.16	-1.7
2440903.68669	3 5 34.57	14 46 22.3	-0.13	-1.6

Una comparación de los residuos de la tabla precedente con los de Zadunaisky y Ross demuestra que estos nuevos elementos se ajustan mejor al período que abarcan las observaciones. El error medio cuadrático de una observación fue de 0.24 en AR y 2.57 en declinación.

Agradecimiento

Este trabajo fue sugerido por el Ing. Pedro E. Zadunaisky a quien deseo expresar mi agradecimiento por su valiosa asistencia.

Referencias

- Clemence, G.M. 1951, A.J., 56, 35; 1952, A.J., 57, 33.
 Pickering, W. 1905. Ann. Harv. Coll. Obs., 53, 6.
 Zadunaisky, P.E. 1954, A.J., 59, 1.