



Seminario:
"Meteoritos de vapor a polvo y planetas"

TEMA:
A NEAR-INFRARED SEARCH FOR SILICATES IN
JOVIAN TROJAN ASTEROIDS

Profesora: Dra. Maria E. Varela
Alumno: Eduardo L. Tello, H

A NEAR-INFRARED SEARCH FOR SILICATES IN JOVIAN TROJAN ASTEROIDS

BIN YANG¹ AND DAVID JEWITT^{2,3}

¹Institute for Astronomy, University of Hawaii, Honolulu, HI 96822, USA; yangbin@ifa.hawaii.edu

²Department of Earth and Space Sciences, Institute for Geophysics and Planetary Physics, University of California, Los Angeles, CA 90095, USA; jewitt@ucla.edu

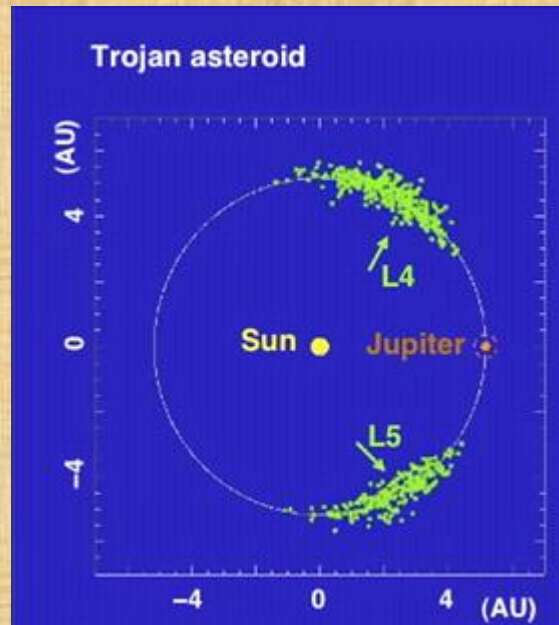
³Department of Physics and Astronomy, University of California, Los Angeles, CA 90095, USA

Received 2010 July 19; accepted 2010 December 26; published 2011 February 9

ALGUNOS CONCEPTOS GENERALES

ASTEROIDES TROYANOS:

Los **asteroides troyanos** son asteroides que comparten órbita con un planeta en torno a los puntos de Lagrange estables L_4 y L_5 , los cuales están situados 60° delante y 60° detrás del planeta en su órbita. Los asteroides troyanos se encuentran distribuidos en dos regiones alargadas y curvadas alrededor de estos puntos, en el caso de **Júpiter**, con un semieje de 5,2 UA. Nuestro planeta **Tierra**, **Marte**, **Urano** y **Neptuno** también posee un asteroide troyano.



Los Troyanos de Júpiter descubiertos hasta el 07 de Noviembre del 2014 son los siguientes:

Planeta	Punto L4	Punto L5	Total
Tierra	1	0	1
Marte	1	3	4
Júpiter	4021	2062	6083
Saturno	0	0	0
Urano	1	0	0
Neptuno	6	3	9

<http://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/JupiterTrojans.html>

TEMA: “BUSQUEDA DE SILICATOS EN LOS TROYANOS DE JUPITER EN EL INFRARROJO CERCANO”

-Los asteroides troyanos de Júpiter se encuentran en los puntos de Lagrange L4 y L5 del Sistema Sol- Júpiter.

-Su ubicación única, en medio del los asteroides del cinturón principal y los objetos del Cinturón de Kuiper, sugiere que los troyanos pueden preservar importante composición dependientes de la temperatura.

-Se ha reconocido que los troyanos son observacionalmente similar a los núcleos de los cometas, en términos de su color ligeramente rojizo (Jewitt & Luu 1990) y sus bajos albedos (Fernández et al. 2003).

-Son muy distinta de, por ejemplo, los asteroides de Tipo S que dominan las regiones interiores del cinturón principal de asteroides (Gradie & Tedesco 1982).

-Por otro lado, mientras que los núcleos de cometas son conocidos por ser rica en hielo, no se han identificado en un asteroide troyano a pesar de los considerable gasto de esfuerzo de observación (Jones et al. 1990; Luu et al. 1994; Dumas et al. 1998; Emery & Brown 2003; Yang & Jewitt 2007; Fornasier et al. 2007).

-Se esperaba que el hielo sería un componente importante de los cuerpos formados más allá de la línea de hielo, donde el agua estaría en la fase sólida. La ausencia de hielo de agua en la superficie puede ser debido, como en los núcleos de los cometas, a la formación de un manto superficie refractaria que es un subproducto de la sublimación pasada (Jewitt 2002). Si es así, las propiedades superficiales de los troyanos revelan la naturaleza de los componentes refractarios y tal vez con hielo restante estable sólo a profundidades a las que los fotones ópticos e infrarrojos no puede penetrar.

-Las hipótesis del origen de los Troyanos son: uno sugiere que los troyanos son planetesimales capturados desde la vecindad de la órbita del planeta gigante (Marzari & Scholl 1998; Fleming & Hamilton 2000; Chiang & Lithwick 2005), mientras que la otra sugiere que los troyanos se hayan formado en el Cinturón de Kuiper en una época temprana y luego se dispersaron y fueron capturados en sus órbitas actuales (Morbidelli et al. 2005).

-Troyanos acrecionados cerca de la órbita de Júpiter (5 UA y temperaturas ~ 100 K a 150 K) y en el mucho más distante Cinturón de Kuiper (30 UA y 50 K) deben diferir en su composición. Por lo tanto, la composición química de los troyanos debería establecer limitaciones importantes en las regiones de origen plausibles de estos objetos.

-Recientemente, los espectros de emisión térmica de tres asteroides troyanos: (624) Héctor, (911) Agamenón, y (1172) Aneas, fueron reportados por Emery et al. (2006). Estos tres espectros tomadas por el Telescopio Espacial Spitzer, muestran una **máxima emisión casi idéntica cerca 10 μm** con dos **características más débiles cerca de 20 μm** . Estas características son difíciles para que coincida con los espectros de meteoritos o espectros de mineral sintético, pero se parecen mucho a las características de 10 μm y 20 μm , encontradas en los espectros de los cometas (Emery et al. 2006).

-Las características de las emisiones cometarias son atribuidos a los modos vibracionales **Si-O** en pequeños granos de silicato (Ney 1977; Crovisier et al. 1997; Wooden et al 1999; Stansberry et al. 2004).

-Granos de silicato con radios mayor que unas pocas decenas de micras no presentan características espectrales en 10 μm y 20 μm pero muestran espectros de cuerpo negro porque como granos grandes son ópticamente gruesa en estas longitudes de onda (Rose 1979).

-La detección de las características de emisión térmica sugiere una distribución muy porosa de pequeños granos de silicato en las superficies de estos troyanos.

-Este hallazgo es consistente con estudios anteriores (Cruikshank et al 2001; Emery & Brown 2004), lo que demuestra que los modelos sintéticos que incorporan el carbono amorfo y piroxeno amorfo pueden reproducir adecuadamente las pendientes rojas comunes de los espectros de Troya en el infrarrojo cercano (NIR). La distribución porosa de las partículas pequeñas podría haber sido causado por la actividad cometaria pasada o en curso. Sin embargo el proceso no se entiende en detalle.

-Howell (1995) realizó espectrofotometría visible y de infrarrojos de 17 troyanos e informó de que nueve de los diecisiete Troyanos mostraron una característica de **absorción próximo a 1 μm** . Si de verdad, esta característica sería coherente con el diagnóstico del silicato en la banda de $1\mu\text{m}$, que se atribuye a Fe^{2+} transiciones de campo cristalino de hierro-silicato que llevan (Burns 1981; King & Ridley 1987; Sol & Pieters 1998).

-La detección de la característica de $1\mu\text{m}$ en el NIR y la fuerte característica en $10\mu\text{m}$ en el infrarrojo medio (MIR) sugieren que las superficies de los asteroides troyanos podrían ser dominados por silicato - ricos en el manto.

-Sin embargo, las detecciones por Howell (1995) se basaron en la fotometría multicolor tomada con detectores de un solo elemento y permanecen observacionalmente sin confirmar.

-En consecuencia, **el primer objetivo de este trabajo es verificar la presencia de la función de absorción $1\mu\text{m}$** , con mayor resolución espectral y la relación señal a ruido (S / N).

-**La mayoría, pero no todos los troyanos tienen clasificaciones taxonómicas de tipo P o tipo D** con base en sus espectros de reflectancia óptica. Estos últimos son generalmente sin rasgos **con un rojo espectral** longward pendiente moderada o muy empinada de $0,55\ \mu\text{m}$ (Tholen & Barucci 1989; Bus y Binzel 2002).

-**Una creencia común entre los científicos planetarios es que los troyanos son exclusivamente rojo.** Pero, **¿es esto realmente cierto?** Recientemente, se encontraron varios troyanos que tienen colores **neutros o grises en el óptico** (Bendjoya et al. 2004; Dotto et al. 2006; Szabo et al. 2007). Muchos de estos **troyanos grises** pertenecen a una familia dinámica, la **familia Euríbatas** (Beaugé & Roig 2001).

-Dada la fracción **dominante de los tipos P y D** en la población de Troyanos, la rareza de los troyanos **grises** de **tipo-C** como en sí es interesante. Más importante aún, Emery et al. (2009) reportaron que los troyanos rojos muestran las características de las emisiones térmicas más fuertes que los que tienen espectros neutro (**gris**). Sin embargo, los troyanos que se han estudiado en la NIR son principalmente (**rojo**) **tipos D** y las propiedades NIR de troyanos de **tipo C** permanecen submuestreada en gran medida.

-Por lo tanto, el **segundo objetivo** de este trabajo es **investigar las propiedades de superficie de color gris** a través de la espectroscopia NIR de troyanos para mejorar nuestro conocimiento de estos objetos. Observamos tres miembros de la familia Euríbatas en la NIR, junto con dos objetos grises no familiares para investigar:

- (1) Si la familia de Euríbatas posee rasgos especiales y
- (2) Si en los objetos grises con espectros ópticos neutral, se puede visualizar cualquiera de las funciones de diagnóstico que son indicativos de su mineralogía.

RESULTADOS

Características de Absorción de Silicato en $1\mu\text{m}$

-Hemos observado siete troyanos que se informó anteriormente para mostrar una característica distintiva de absorción cerca de $1\mu\text{m}$ (Howell 1995). Nuestro recién obtenido espectros NIR se ilustra en la **Figura 1**. Los siete troyanos aparecerá sin rasgos en nuestros datos y tener pendientes espectrales rojizas $0,8\mu\text{m}$ - $2,5\mu\text{m}$. Comparaciones detalladas entre nuestras observaciones y las de Howell (1995) se presentan en la **Figura 2** para (2223) Sarpedón y (1172) Aeneas.

-El primero tiene la banda de absorción de $1\mu\text{m}$ más fuerte entre los siete troyanos en Howell (1995), mientras que el segundo se observó utilizando el Telescopio Espacial Spitzer de la NASA y se encontró que presentan una característica significativa de emisiones de $10\mu\text{m}$. Hemos normalizado tanto nuestros datos y los datos fotométricos de (Howell 1995) a $1,7\mu\text{m}$.

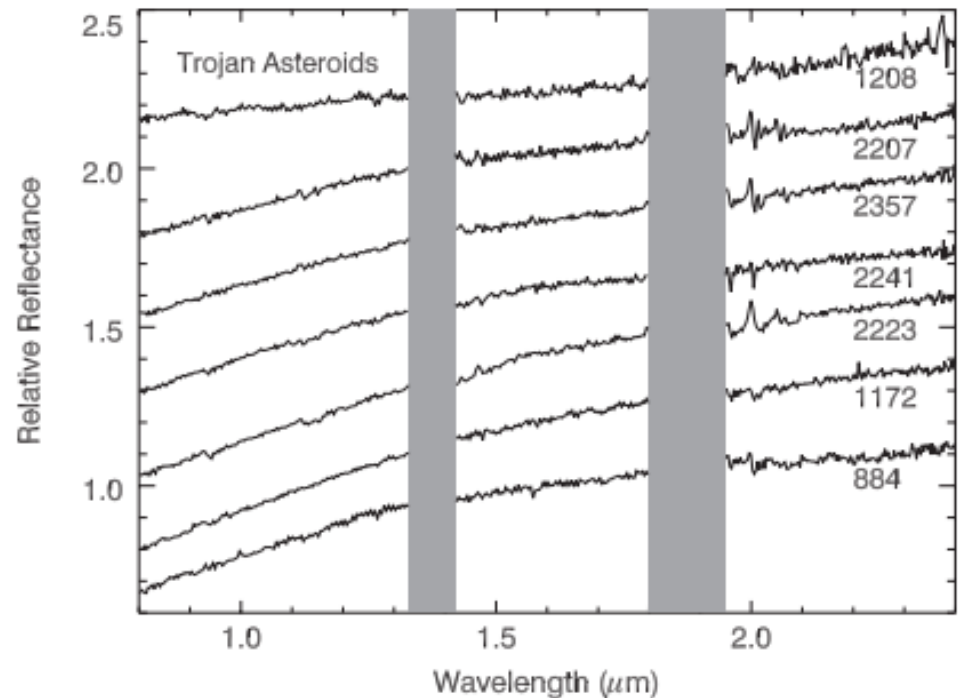


Figure 1. Near-infrared spectra of seven Trojans that have been previously reported to show absorption features near $1.0\mu\text{m}$. The reflectance spectra are normalized at $1.7\mu\text{m}$ and have been vertically offset for clarity.

En la Figura 2, las líneas continuas de color naranja y negro representan los espectros NIR de Sarpedón y Aneas que fueron tomadas en UT 2007 Abril 6 y 7, respectivamente. Los cuadrados negros llenos son mediciones fotométricas de estos dos objetos tomados por Howell (1995). Las líneas de trazos se ajusta a los puntos fotométricos. Nuestras apropiadas line de trazos de las curvas son similares a los ajustes originales en Howell (1995). Hemos encontrado que nuestros datos son ampliamente consistentes con las mediciones de Howell en el rango de longitud de onda de 1,0 a 2,5 μm , con excepción de la desviación cerca de 1.1 μm , donde los datos de Howell muestran una fuerte banda de absorción, mientras que no hemos visto esta característica en nuestros datos.

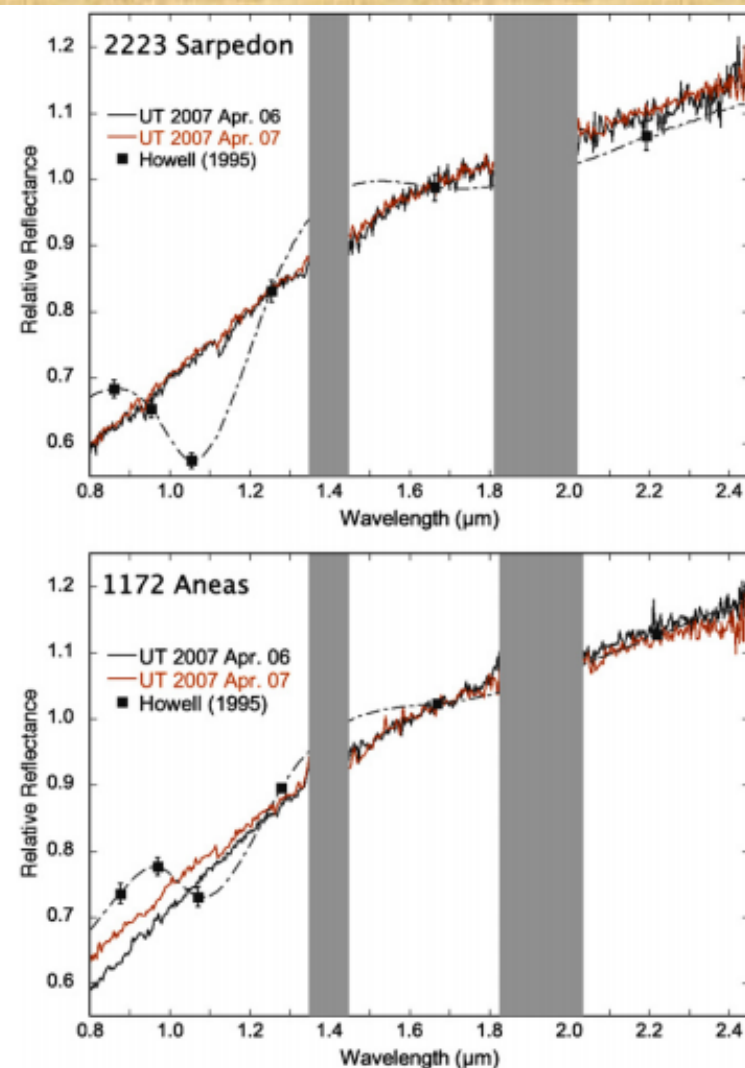


Figure 2. Photometric observations from Howell (1995) compared with our newly obtained spectra of (1172) Aneas and (2223) Sarpedon. The black and orange solid lines represent our observations obtained on UT 2007 April 6 and 7, respectively. The filled squares are observations presented in Howell (1995). All the spectra are normalized at 1.7 μm . Dashed lines are cubic spline fits to the Howell data, added to guide the eye.

(A color version of this figure is available in the online journal.)

Troyanos Grises

-Como se muestra en la **Figura 1**, el espectro de **(1208) Troilus** es distinto de los otros seis troyanos. En primer lugar, Troilo exhibe un espectro NIR casi plano. En contraste, los otros troyanos tienen pendientes más pronunciadas en la misma región espectral.

-En segundo lugar, el espectro de **Troilus** tiene una pendiente casi invariable, mientras que los otros troyanos muestran un aplanamiento. Las observaciones ópticas demuestran que **Troilus** tiene un **espectro gris**, donde los otros **seis troyanos** tienen exclusivamente **pendiente rojo** (Jewitt & Luu 1990; Bendjoya et al. 2004).

-**¿Podría (1208) Troilus, con un espectro NIR distinta, ser un caso especial?**
¿O es Troilus representante del grupo de Troya gris poco estudiada que muestra espectros neutral/gris en el óptico y NIR?

- **La figura 4** muestra que (1208) Troilus es un troyano gris común, a pesar de tener una inclinación ($i = 33.5^\circ$), incompatible con la de la familia Euríbatas ($i=7.2^\circ$). Tomamos nota de que los tres miembros de la familia Euríbatas muestran espectros NIR esencialmente idénticas, dentro de las incertidumbres de medición.

-Dado que las propiedades espectrales de los tres Euríbatas troyanos se parecen mucho entre sí, hemos considerado sólo el espectro de (3548) Euríbatas (con la más alta S/N) para profundizar el análisis. El IRAS albedo de 3548 es $0,054 \pm 0,007$ (Tedesco et al.2002), que es consistente con los albedos comunes de los principales asteroides de **tipo C** que generalmente tienen espectros neutrales y bajos albedos en el óptico. Se cree que los de **tipo C que se componen de silicatos hidratados, carbono y compuestos orgánicos** (Gaffey et al. 1993). En particular, se ha sugerido que los **asteroides de tipo C** pueden ser órganos principales de condritas carbonáceas CI y CM (Bell 1989; Gaffey et al. 1993).

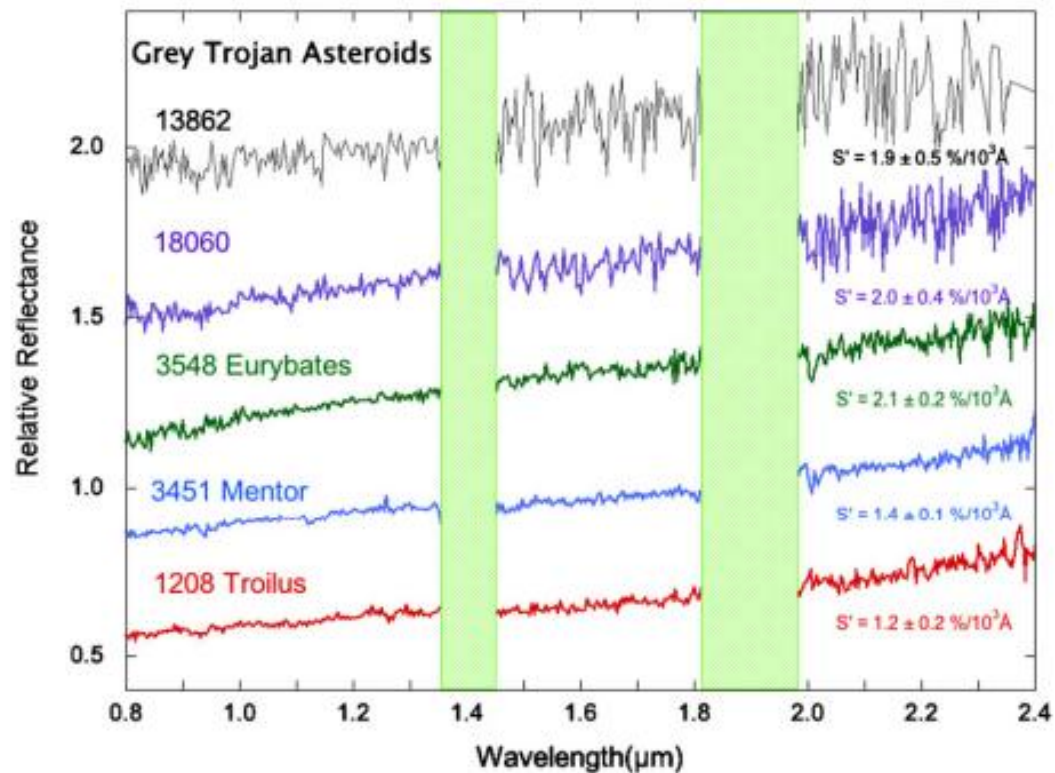


Figure 4. Near-infrared spectra of Trojans that have nearly neutral optical spectral slopes. The optically neutral Trojans exhibit similar spectral slopes in the NIR and show no diagnostic spectral features. Note the especially close similarities between the Eurybates family members (e.g., 3548, 18060, and 13862), all with spectral slope of $\sim 2\%/10^3 \text{\AA}$ in the wavelength range 0.8–2.4 μm . The reflectance spectra are normalized at 1.7 μm and have been vertically offset for clarity.

(A color version of this figure is available in the online journal.)

-De acuerdo con ello, se comparó el espectro de 3548, en el rango de longitud de onda de 0,8 a 2,45 μm , con los espectros de laboratorio de los meteoritos carbonosos comunes desde el Catálogo de la Universidad de Brown Keck / NASA Relab Spectra. Comparamos principalmente nuestros datos con la IC y muestras de condrita CM, porque nuestras muestras de **Trojanos grises y los asteroides de tipo C son espectralmente por igual** en la óptica.

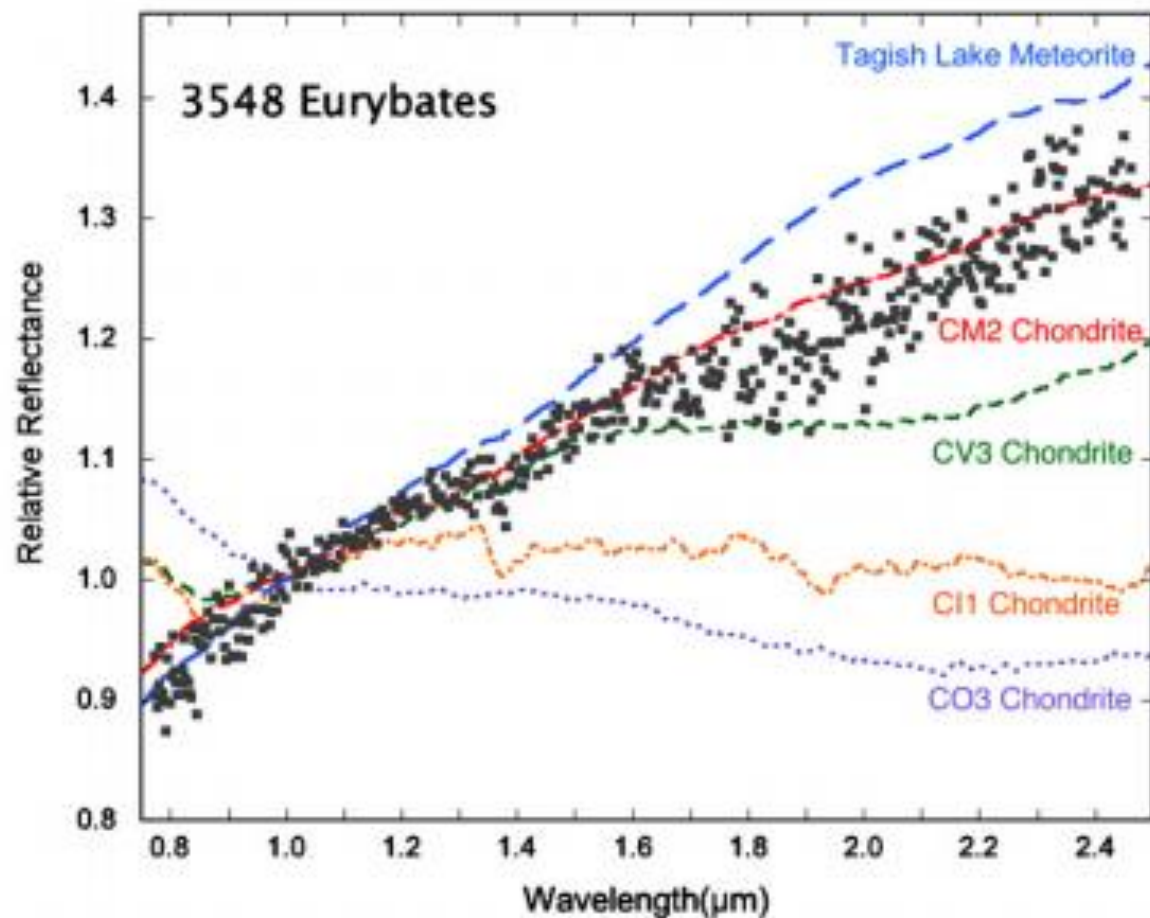


Figure 5. Comparison between the spectrum of (3548) Eurybates and common carbonaceous chondrites, including the famous Tagish Lake meteorite. The Trojan spectrum (shown as solid squares) and the meteorite spectra are all normalized at $1.0 \mu\text{m}$. Like main-belt C-type asteroids, the NIR spectrum of (3548) Eurybates closely resembles that of the CM2 meteorite.

(A color version of this figure is available in the online journal.)

BIBLIOGRAFIA

- Aines, R. D., & Rossman, G. R. 1984, *J. Geophys. Res.*, **89**, 4059
- Beaugé, C., & Roig, F. 2001, *Icarus*, **153**, 391
- Bell, J. F. 1989, *Icarus*, **78**, 426
- Bendjoya, P., Cellino, A., di Martino, M., & Saba, L. 2004, *Icarus*, **168**, 374
- Binzel, R. P., Rivkin, A. S., Stuart, J. S., Harris, A. W., Bus, S. J., & Burbine, T. H. 2004, *Icarus*, **170**, 259
- Bradley, J. P., Humecki, H. J., & Germani, M. S. 1992, *ApJ*, **394**, 643
- Brearley, A. J. 2006, in *The Early Solar System II*, ed. D. Lauretta, H. Y. McSween, & L. Leshin (Tucson, AZ: Univ. Arizona Press), 587
- Brown, P. G., et al. 2000, *Science*, **290**, 320
- Brunetto, R., Barucci, M. A., Dotto, E., & Strazzulla, G. 2006, *ApJ*, **644**, 646
- Burns, R. G. 1981, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **9**, 345
- Bus, S. J., & Binzel, R. P. 2002, *Icarus*, **158**, 146
- Chapman, C. R. 1996, *Meteorit. Planet. Sci.*, **31**, 699
- Chiang, E. L., & Lithwick, Y. 2005, *ApJ*, **628**, 520
- Cloutis, E. A., Gaffey, M. J., Smith, D. G. W., & Lambert, R. S. J. 1990, *J. Geophys. Res.*, **95**, 281
- Crovisier, J., Leech, K., Bockelee-Morvan, D., Brooke, T. Y., Hanner, M. S., Altieri, B., Keller, H. U., & Lellouch, E. 1997, *Science*, **275**, 1904
- Cruikshank, D. P., Dalle Ore, C. M., Roush, T. L., Geballe, T. R., Owen, T. C., de Bergh, C., Cash, M. D., & Hartmann, W. K. 2001, *Icarus*, **153**, 348
- Cushing, M. C., Vacca, W. D., & Rayner, J. T. 2004, *PASP*, **116**, 362
- de Luise, F., Dotto, E., Fornasier, S., Barucci, M. A., Pinilla-Alonso, N., Perna, D., & Marzari, F. 2010, *Icarus*, **209**, 586
- Dotto, E., et al. 2006, *Icarus*, **183**, 420
- Dumas, C., Owen, T., & Barucci, M. A. 1998, *Icarus*, **133**, 221
- Emery, J. P., & Brown, R. H. 2003, *Icarus*, **164**, 104
- Emery, J. P., & Brown, R. H. 2004, *Icarus*, **170**, 131
- Emery, J. P., Cruikshank, D. P., & Burr, D. M. 2009, *AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts*, **41**, 32.10
- Emery, J. P., Cruikshank, D. P., & van Cleve, J. 2006, *Icarus*, **182**, 496
- Feierberg, M. A., Lebofsky, L. A., & Tholen, D. J. 1985, *Icarus*, **63**, 183
- Fernández, Y. R., Sheppard, S. S., & Jewitt, D. C. 2003, *AJ*, **126**, 1563
- Fleming, H. J., & Hamilton, D. P. 2000, *Icarus*, **148**, 479
- Fornasier, S., Dotto, E., Hainaut, O., Marzari, F., Boehnhardt, H., de Luise, F., & Barucci, M. A. 2007, *Icarus*, **190**, 622
- Gaffey, M. J. 1976, *J. Geophys. Res.*, **81**, 905
- Gaffey, M. J., Burbine, T. H., & Binzel, R. P. 1993, *Meteoritics*, **28**, 161
- Gehrz, R. D., & Ney, E. P. 1992, *Icarus*, **100**, 162
- Gil-Hutton, R., & Brunini, A. 2008, *Icarus*, **193**, 567
- Gradie, J., & Tedesco, E. 1982, *Science*, **216**, 1405
- Hanner, M. S. 1999, *Space Sci. Rev.*, **90**, 99
- Hardersen, P. S., Gaffey, M. J., & Abell, P. A. 2005, *Icarus*, **175**, 141
- Harker, D. E., Wooden, D. H., Woodward, C. E., & Lisse, C. M. 2002, *ApJ*, **580**, 579
- Harker, D. E., Woodward, C. E., Wooden, D. H., Fisher, R. S., & Trujillo, C. A. 2007, *Icarus*, **190**, 432
- Hayward, T. L., & Hanner, M. S. 1997, *Earth Moon Planets*, **78**, 265
- Hiroi, T., Zolensky, M. E., & Pieters, C. M. 2001, *Science*, **293**, 2234
- Howell, E. S. 1995, PhD thesis, Univ. of Arizona
- Hunt, G. R., & Vincent, R. K. 1968, *J. Geophys. Res.*, **73**, 6039
- Huss, G. R., Meshik, A. P., Smith, J. B., & Hohenberg, C. M. 2003, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **67**, 4823
- Ivezic, Z., et al. 2001, *AJ*, **122**, 2749
- Jewitt, D. C. 2002, *AJ*, **123**, 1039
- Jewitt, D. C., & Luu, J. X. 1990, *AJ*, **100**, 933
- Jones, T. D., Lebofsky, L. A., Lewis, J. S., & Marley, M. S. 1990, *Icarus*, **88**, 172
- Kimura, H., Chigai, T., & Yamamoto, T. 2008, *A&A*, **482**, 305
- Kimura, H., Kolokolova, L., & Mann, I. 2006, *A&A*, **449**, 1243
- King, T. V. V., & Ridley, W. I. 1987, *J. Geophys. Res.*, **92**, 11457
- Lazzarin, M., Marchi, S., Moroz, L. V., Brunetto, R., Magrin, S., Paolicchi, P., & Strazzulla, G. 2006, *ApJ*, **647**, L179
- Lucey, P. G., & Noble, S. K. 2008, *Icarus*, **197**, 348
- Luu, J., Jewitt, D., & Cloutis, E. 1994, *Icarus*, **109**, 133
- Marzari, F., & Scholl, H. 1998, *Icarus*, **131**, 41
- Moersch, J. E., & Christensen, P. R. 1995, *J. Geophys. Res.*, **100**, 7465
- Morbidelli, A., Levison, H. F., Tsiganis, K., & Gomes, R. 2005, *Nature*, **435**, 462
- Moroz, L. V., Arnold, G., Korochantsev, A. V., & Wasch, R. 1998, *Icarus*, **134**, 253
- Moroz, L., Baratta, G., Strazzulla, G., Starukhina, L., Dotto, E., Barucci, M. A., Arnold, G., & Distefano, E. 2004a, *Icarus*, **170**, 214
- Moroz, L. V., Hiroi, T., Shingareva, T. V., Basilevsky, A. T., Fisenko, A. V., Semjonova, L. F., & Pieters, C. M. 2004b, *Lunar and Planetary Institute Science Conference Abstracts*, **35**, 1279
- Mukai, T., & Koike, C. 1990, *Icarus*, **87**, 180
- Mustard, J. F., & Hays, J. E. 1997, *Icarus*, **125**, 145
- Nesvorný, D., Jedicke, R., Whiteley, R. J., & Ivezić, Ž. 2005, *Icarus*, **173**, 132
- Ney, E. P. 1977, *Science*, **195**, 541
- Rayner, J. T., Toomey, D. W., Onaka, P. M., Denault, A. J., Stahlberger, W. E., Vacca, W. D., Cushing, M. C., & Wang, S. 2003, *PASP*, **115**, 362
- Rivkin, A. S., Howell, E. S., Vilas, F., & Lebofsky, L. A. 2002, in *Asteroids III*, ed. W. F. Bottke, A. Cellino, Jr., P. Paolicchi, & R. P. Binzel (Tucson, AZ: Univ. Arizona Press), 235
- Roig, F., Ribeiro, A. O., & Gil-Hutton, R. 2008, *A&A*, **483**, 911
- Rose, L. A. 1979, *Ap&SS*, **65**, 47
- Salisbury, J. W., & Wald, A. 1992, *Icarus*, **96**, 121
- Shingareva, T. V., Basilevsky, A. T., Fisenko, A. V., Semjonova, L. F., & Korotaeva, N. N. 2004, *Lunar and Planetary Institute Science Conference Abstracts*, **35**, 1137
- Stansberry, J. A., et al. 2004, *ApJS*, **154**, 463
- Stephens, J. R., & Russell, R. W. 1979, *ApJ*, **228**, 780
- Sunshine, J. M., & Pieters, C. 1998, *J. Geophys. Res.*, **103**, 13675
- Szabó, G. M., Ivezić, Ž., Jurić, M., & Lupton, R. 2007, *MNRAS*, **377**, 1393
- Tedesco, E. F., Noah, P. V., Noah, M., & Price, S. D. 2002, *AJ*, **123**, 1056
- Tholen, D. J., & Barucci, M. A. 1989, in *Asteroids II*, ed. R. P. Binzel, T. Gehrels, & M. S. Matthews (Tucson, AZ: Univ. Arizona Press), 298
- Wooden, D. H., Harker, D. E., Woodward, C. E., Butner, H. M., Koike, C., Witteborn, F. C., & McMurtry, C. W. 1999, *ApJ*, **517**, 1034
- Yang, B., & Jewitt, D. 2007, *AJ*, **134**, 223
- Zellner, B. 1975, *ApJ*, **198**, L45
- Zellner, B., Tholen, D. J., & Tedesco, E. F. 1985, *Icarus*, **61**, 355