

Seminario de Postgrado

EL ESPACIO TRANSNEPTUNIANO Propiedades físicas de los TNOs

Propiedades físicas de los TNOs

El estudio de las propiedades físicas de los TNOs es crucial para una serie de objetivos.

- Conocer la composición química de estos objetos
- La forma y el tamaño.
- Derivar la constitución interna.
- Dado que los TNOs representan la población de objetos más prístina, conocer su composición nos da información sobre las condiciones y los procesos que dominaron la evolución de la nebulosa solar temprana.

Propiedades físicas de los TNOs

Sin embargo, en general las propiedades físicas son pobremente determinadas debido a que son objetos pequeños muy lejanos y por tanto aún no hay demasiadas cuestiones determinadas.

La información que podemos obtener es (como todo en astronomía) a partir de la fotometría y de la espectroscopía.

Propiedades físicas de los TNOs

La **fotometría** nos permite obtener el brillo en ciertas long. de onda y por tanto los colores de los objetos.

⇓ (H = f(R))

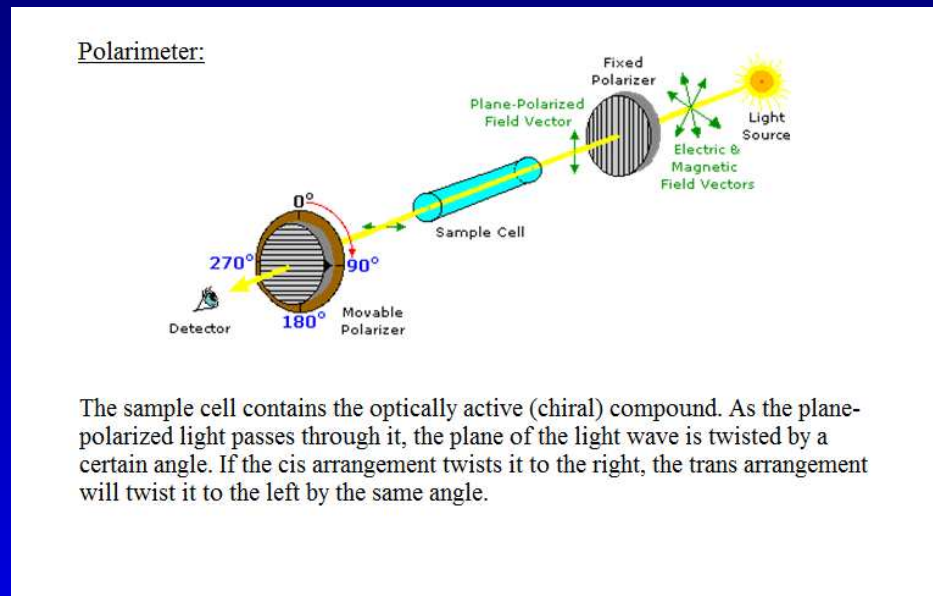
A partir de esto se puede estimar el tamaño.



Propiedades físicas de los TNOs

Dentro de esta técnica, es posible obtener las funciones de fase y hacer **polarimetría**:

El comportamiento del ángulo de polarización depende de las propiedades de las capas superficiales de los objetos, como el albedo, distribución de tamaño de las partículas, porosidad, heterogeneidad, etc.

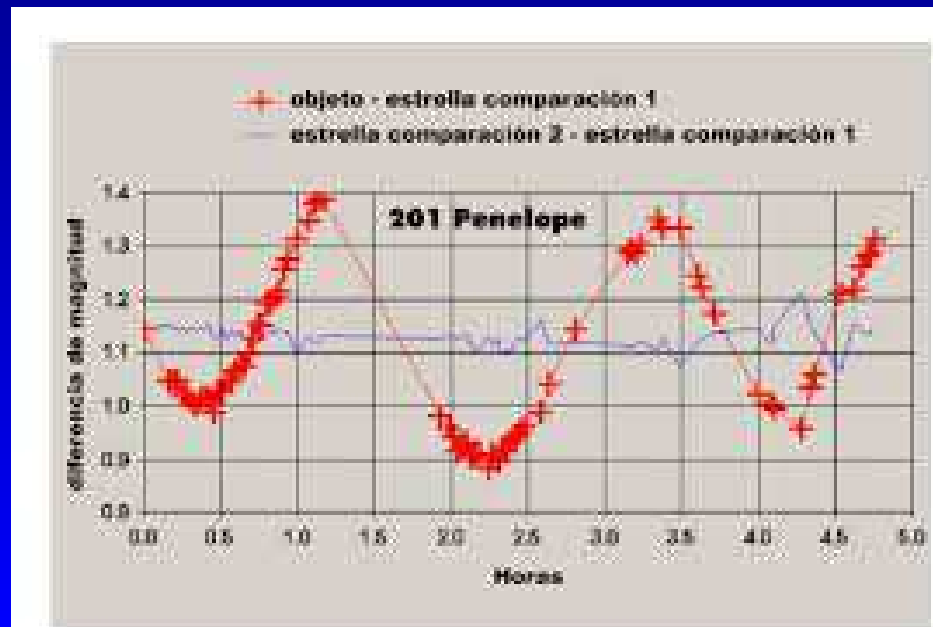


Propiedades físicas de los TNOs

Estas características pueden estudiarse a través de modelos numéricos de la luz dispersada, del material superficial, de la composición química y mineralógica.

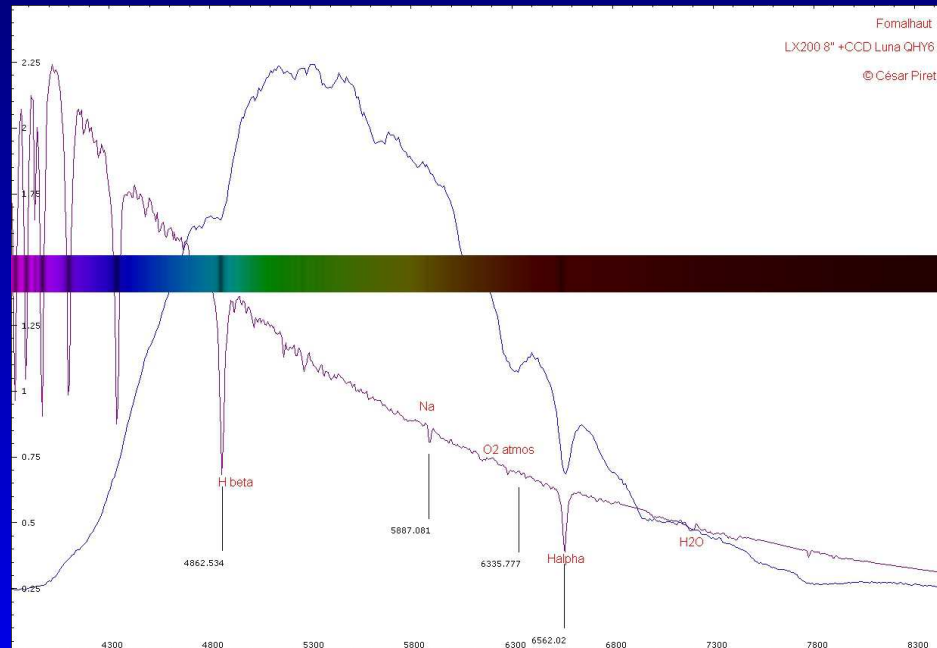
Además para esto se usan medidas del flujo en el IR para determinación del albedo.

La variación del brillo en función del tiempo es lo que se llama “curva de luz”. Nos permite conocer la forma y prop superficiales de los TNOs.



Propiedades físicas de los TNOs

La espectroscopía nos permite obtener información detallada de la composición superficial de los objetos. El rango de long. de onda entre 0.4 y $2.5 \mu\text{m}$ se utiliza para caracterizar las fases ppales de los minerales y hielos presentes en los TNOs. La mayoría de los TNOs son muy débiles para observaciones espectroscópicas y por tanto solo los más brillantes las tienen.



Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

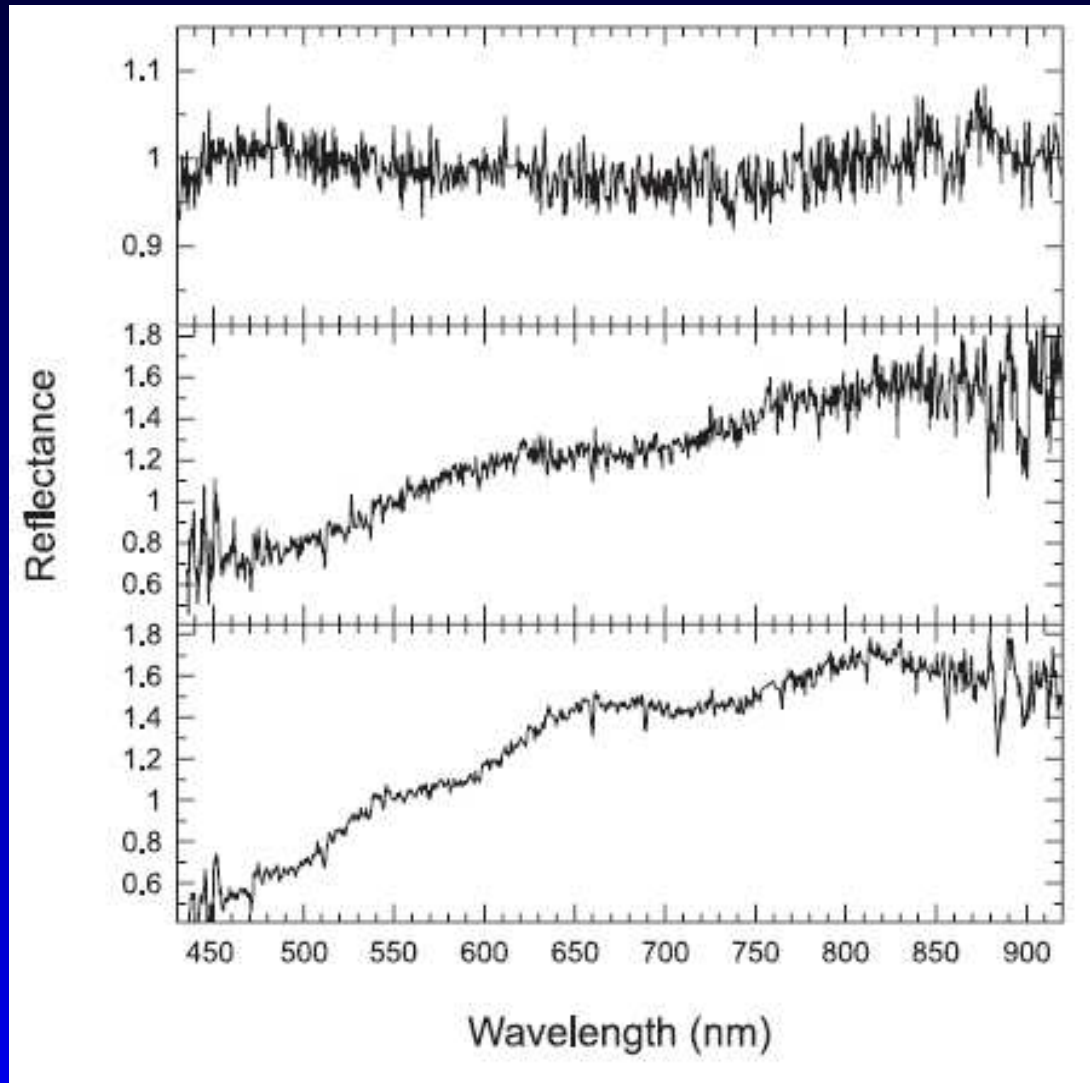
(Barucci et al, 2008 , pag.143 libro TNOs)

El espectro Visible

- Es mayormente sin características, y con una variación en el gradiente espectral de neutro a muy rojo, lo cual confirma la diversidad en las bandas de color.
- En particular para los objetos más rojos, la reflectividad crece rápidamente con la long. de onda. Esto es interpretado como la presencia de material orgánico en la superficie.
- En el rango visible se detecta también “minerales alterados acuosamente” como los filosilicatos

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

El espectro Visible



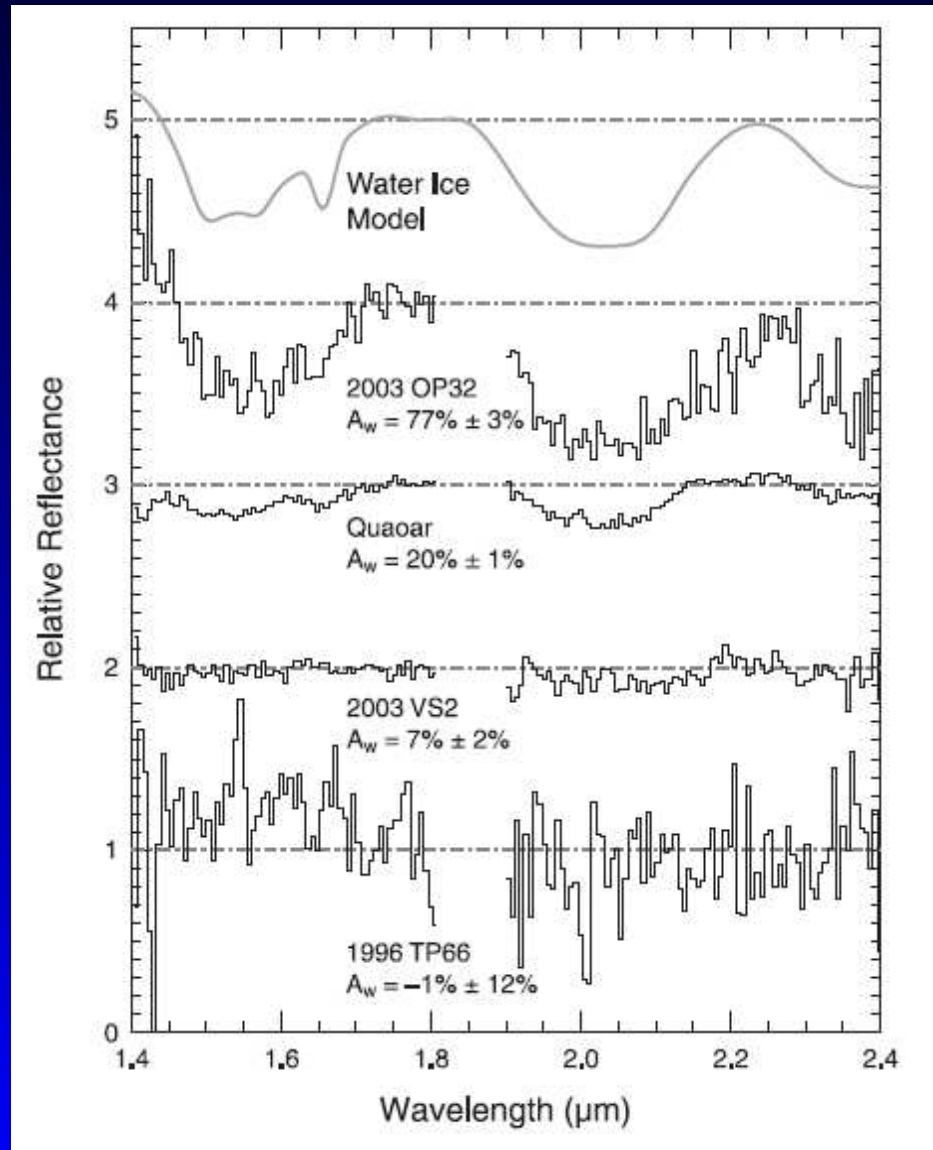
Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

El espectro Cercano IR

- Está en el rango $1 - 2.5 \mu m$ es la región que mejor diagnostica la presencia de hielos.
- Las características de hielo de agua están presentes en $1.5, 1.65$ y $2 \mu m$ y de otros hielos como CH_4 alrededor de 1.7 y 2.3 , CH_3OH en $2.27 \mu m$ y NH_3 en 2 y $2.25 \mu m$.
- En el cercano IR algunos espectros de Centauros y TNOs no tienen características mientras que otros muestran presencia de hielos.

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

El espectro Cercano IR



Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

Resultados de espectroscopía desde Tierra

- Se hace en V y en IR
- Se han observado más de 40 objetos, pero solo unos pocos están bien estudiados y modelados tanto en V como en IR. Es necesario combinar ambos espectros para restringir la composición superficial.
- Los TNOs son muy débiles e incluso observaciones de exposición larga y telescopios grandes no obtienen espectros de alta calidad.
- En gral, los Centauros y TNOs tienen espectros similares aunque muestran una diversidad que indica diversas características superficiales.

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

Resultados de espectroscopía desde Tierra

- En gral. las pendientes rojas se reproducen bien con compuestos orgánicos y la abundancia fraccional de estos compuestos depende de la pendiente espectral. Las pendientes chatas y objetos de bajo albedo se pueden modelar con fracciones grandes de carbono amorfo.
- Casi todos los objetos muestran espectros o completamente sin características o con absorciones de agua en 1.5 y $2 \mu m$.
- Solo muy pocos objetos muestran absorciones en el IR cercano.

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

Resultados de espectroscopía desde Tierra

- Por ej. Eris, Pluton y Make Make tienen espectros complejos dominados por bandas de absorción debidas al metano.
- Pholus muestra en su espectro olivina, Titan tholinsm, hielo de agua, methanol y carbono. Se sugiere que puede ser un objeto primitivo (cometa) que nunca tuvo actividad.

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

IR lejano: observaciones con el telescopio espacial Spitzer

Las observaciones desde Tierra del lejano IR no se hace debido a las fuertes bandas de absorción de la atmósfera terrestre y su variabilidad muy rápida.

El telescopio espacial Spitzer fue lanzado en 2003 y tiene un diámetro de 0.85 mts.

Esta región espectral contiene las bandas vibracionales moleculares fundamentales del Si-O. Estas crean patrones complejos de emisividad en torno a estas bandas que son diagnóstico de mineralogía de silicatos.

También se muestran en este espectro hielos como H_2O , CH_3OH .

Estas bandas, particularmente la del $Si - O$ son sensibles al tamaño del grano y la estructura de la superficie.

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

Tipos espectrales

La información que se obtiene del modelado del espectro no es única, especialmente porque depende de parámetros necesarios como el albedo, long. de onda cubierta, etc que pueden no estar bien determinados.

Analizando todos los espectros disponibles se encuentra que los objetos se pueden clasificar en cuatro grupos espectrales según las características superficiales.

- **1. Espectro dominado por Metano:** la mayoría de los TNOs grandes (Plutón, Eris Sedna, MakeMake, Tritón) tienen el espectro IR dominado por absorciones de CH_4 . Algunos tienen también bandas de absorción de N_2 Algunos muestran bandas de absorción de hielo de CH_4 .

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

- **2. Espectro dominado por hielo de agua:** tienen absorciones moderadas a profundas de hielo de agua. Incluye los grandes pero también los pequeños. Las absorciones muy profundas se encuentran solo en los objetos dinámicamente similares a 2003 *EL*₆₁ (Haumea) (asociado con la familia propuesta por Brown et al. 2007). Se testeó correlación entre color y la presencia de hielo de agua y no se encontró. No se sabe porqué se dan variaciones en las absorciones del agua. Todos tienen en $1.65 \mu m$ hielo cristalino de agua. Pero no es esperable hielo cristalino a estas temperaturas y tampoco sería estable frente a bombardeo de rayos cósmicos y UV rad. Implica que el hielo debe calentarse hasta 100 a 110 grados K. Por tanto indicaría criovolcanes o colisiones. Pero la presencia de hielo cristalino en los TNOs chicos hacer dudar de esta explicación.

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

- **3. Espectro con hielo de agua y presencia de methanol:**
Algunos pocos objetos muestran un espectro con la banda en $2.27 \mu m$ de CH_3OH . Esto sugiere una superficie primitiva químicamente ya que el calentamiento y otros procesos remueven los hidrocarburos en favor de las macromoléculas de carbono. El metanol es un componente abundante en cometas y el medio interestelar.

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

- 4. **Espectro sin características:** Muchos espectros no tienen características en el cercano IR pero tienen un amplio rango de colores desde neutros hasta muy rojos. Tal vez depende de la pobre relación señal ruido o no. El espectro de este grupo se asemeja al de los cometas muertos y Troyanos. Estos objetos deben tener mantos superficiales ricos en material orgánico o carbón que enmascaran los hielos interiores.

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

Causas de los tipos espectrales

- Todos los TNOs grandes tienen hielos en cambio los chicos pueden no tener hielo.
- La presencia de metano y otros volátiles en los TNOs grandes se puede entender como consecuencia de retención atmosférica.
- La no correlación entre color y presencia de hielo de agua es inexplicable, pero si es indicativo de que el hielo de agua en la superficie de los TNOs está íntimamente mezclado con un “agente de coloreo”.
- No hay aun explicaciones para las variaciones en el espectro. Si hay posibilidades: las variaciones se pueden deber a diferentes composiciones iniciales o en la evolución posterior.

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

(Brown et al., 2012. AJ)

Recolectan observaciones espectroscópicas de baja resolución de varios surveys y agregan observaciones propias. En total tienen 64 objetos.

Remueven de la muestra los objetos pertenecientes a la “familia colisional de Haumea” y los objetos grandes. Quedan entonces 57 objetos en la muestra.



Objetivo:

caracterizar y entender la presencia de hielo de agua en cada espectro

Sin embargo, hay que tener en cuenta que los modelos de espectros son muy dependientes de los parámetros que se elijan y la fracción de hielo de agua obtenida tiene incertezas.

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

La mayoría de los 57 objetos tienen bajas incertezas en la fracción de hielo de agua. Pero 10 tienen errores altos, entonces se descartan.

En la Fig. 2 se muestran la fracción de hielo de agua como función de H . Se ve una tendencia de mayores absorciones de hielo de agua en los TNOs más brillantes, o sea más grandes. Pero para $H > 4,5$ no se ve una tendencia clara.

Una explicación posible para que los TNOs más grandes tuvieran mayor proporción de hielo en su superficie sería la presencia de océanos líquidos en su interior que por medio de criovolcanismo hubieran depositado hielo de agua en la superficie. “Sin embargo, Haumea tiene hielo expuesto debido a la colisión que produjo la familia”.

Propiedades físicas de los TNOs. Espectroscopía

Para los objetos pequeños, $H > 3$ ($D < 800$ km) no se puede decir con certeza que la fracción de agua sea relevante. Pero si que en su gran mayoría es mayor que cero. Por tanto esto es un indicador de que el hielo de agua es común en los espectros de los TNOs más pequeños.

También analizan la presencia de metanol (ver Fig. 4). Se observa la presencia de metanol en los objetos más rojos mientras que en los azules, no.

Existe un modelo que explicaría esto al igual que cierta relación entre el color y la fracción de agua en los TNOs chicos.