

Cátedra de Astronomía Extragaláctica
Laboratorio C: Fotometría Diferencial

1) Estudie el comportamiento del blazar PKS 0537–441 en el filtro R utilizando la curva de luz diferencial. Para ello, siga los pasos que se indican a continuación:

- a) Descargue de la página de la materia el archivo “0537.tar.gz”. Este archivo contiene 33 imágenes del blazar PKS 0537–441 tomadas con el telescopio de 2,15-mts. Jorge Sahade del CASLEO durante la noche del 16 al 17 de diciembre de 1998. Se usó una cámara CCD con un chip Tektronix 1024x1024 + Reductor Focal. La escala final de las imágenes es de 0.8125 arcsec px⁻¹. Estas imágenes ya están corregidas y recortadas.
- b) Busque el objeto en la base de datos de objetos extragalácticos de la NASA, NED (<http://ned.ipac.caltech.edu/forms/nearname.html>). En esta base de datos se pueden conocer valores básicos del objeto, lista de publicaciones, etc. Busque allí el valor del redshift y baje una imagen visual del campo centrado en el objeto con tamaño adecuado para poder comparar con las imágenes tomadas en CASLEO. Esto es, un campo de ~ 10 arcmin x 10arcmin. Note que dentro del bock de búsqueda del NED, le aparecerá una lista de objetos, el correcto es el primero de esa lista (mire las características que dan en la lista) y eligiendo esa opción, le brindará toda la información requerida.
- c) Para levantar la curva de luz diferencial, usaremos tareas que están dentro del paquete IRAF. En particular, usaremos la tarea *phot*, la misma está dentro del paquete *digiphot.apphot*. Esta tarea nos permitirá calcular las magnitudes instrumentales tanto del objeto como de las estrellas de campo que se usen para la fotometría diferencial.
NOTA: para saber la ubicación de cualquier tarea del IRAF, se puede llamar al help de la tarea con “> *help nombredelatarea*” y en el encabezado del help figura la lista de paquetes que hay que cargar.
- d) Editamos la tarea con “> *eparam phot*” o, simplemente, “*epar phot*”. Lo que aparece en la pantalla es algo como lo que se muestra a continuación.

```
image = ""           The input image(s)
skyfile = ""         The input sky file(s)
(coords = "coord.txt") The input coordinate files(s) (default: image.coo.?)
(output = "default") The output photometry file(s) (default: image.mag.?)
(plotfile = "")      The output plots metacode file
(datapars = "")      Data dependent parameters
(centerpars = "")    Centering parameters
(fitskypars = "")    Sky fitting parameters
```

```

    (photpars = "")           Photometry parameters
(interactive = no)          Interactive mode ?
    (radplots = no)          Plot the radial profiles in interactive mode ?
    (icommands = "")         Image cursor: [x y wcs] key [cmd]
    (gcommands = "")         Graphics cursor: [x y wcs] key [cmd]
        (wcsin = )_.wcsin)    The input coordinate system (logical,tv,physical,world)
        (wcsout = )_.wcsout)   The output coordinate system (logical,tv,physical)
        (cache = )_.cache)     Cache the input image pixels in memory ?
        (verify = )_.verify)   Verify critical parameters in non-interactive mode ?
        (update = )_.update)   Update critical parameters in non-interactive mode ?
        (verbose = )_.verbose) Print messages in non-interactive mode ?
    (graphics = )_.graphics) Graphics device
    (display = )_.display)   Display device
        (mode = "ql")

```

En la variable *image* va el nombre de la imagen a la que se le quiere hacer la fotometría. Dentro de esta tarea, hay que fijar varios parámetros de acuerdo a los criterios que se deseen adoptar para reducir las observaciones. Estos parámetros están dentro de la lista de comandos *datapars*, *centerpars*, *fitskypars* y *photpars*. Para poder verlos y/o editarlos, nos paramos en la línea y con “:e” se editan los parámetros.

Detalle de cada lista de parámetros:

i) *datapars*:

```

    (scale = 1.)             Image scale in units per pixel
    (fwhmpsf = 2.5)          FWHM of the PSF in scale units
    (emission = yes)         Features are positive ?
        (sigma = INDEF)       Standard deviation of background in counts
    (datamin = INDEF)        Minimum good data value
    (datamax = INDEF)        Maximum good data value
        (noise = "poisson")    Noise model
        (ccdread = "rdnoise")  CCD readout noise image header keyword
        (gain = "gain")         CCD gain image header keyword
(readnoise = 4.4099998474121) CCD readout noise in electrons
    (epadu = 1.8300000429153) Gain in electrons per count
    (exposure = "exptime")   Exposure time image header keyword
    (airmass = "airmass")     Airmass image header keyword
    (filter = "filters")      Filter image header keyword
    (obstime = "hjd")         Time of observation image header keyword
        (itime = 1.)           Exposure time
    (xairmass = INDEF)        Airmass
    (ifilter = "INDEF")       Filter
        (otime = "INDEF")      Time of observation
        (mode = "ql")

```

Los parámetros que debemos tener en cuenta para modificar son: *scale*: es la escala con la que se trabajará (si es 1 se trabaja en pixels); *noise*, *ccdread*, *gain*, *exposure*, *airmass*, *filter*, *obstime*: son los nombres de estas variables en el *header* de la imagen y deben corresponder con los mismos.

NOTA: para ver el header de la imagen, `> imheader nombredelaimagen`

ii) *centerpars*: se dan los parámetros para el algoritmo de centrado.

<code>(calgorithm = "centroid")</code>	Centering algorithm
<code>(cbox = 5.)</code>	Centering box width in scale units
<code>(cthreshold = 0.)</code>	Centering threshold in sigma above background
<code>(minsnratio = 1.)</code>	Minimum signal-to-noise ratio for centering algo
<code>(cmaxiter = 10)</code>	Maximum number of iterations for centering algo
<code>(maxshift = 1.)</code>	Maximum center shift in scale units
<code>(clean = no)</code>	Symmetry clean before centering ?
<code>(rclean = 1.)</code>	Cleaning radius in scale units
<code>(rclip = 2.)</code>	Clipping radius in scale units
<code>(kclean = 3.)</code>	Rejection limit in sigma
<code>(mkcenter = no)</code>	Mark the computed center on display ?
<code>(mode = "ql")</code>	

Son importantes aquí, el *calgori*, tipo de algoritmo; *cbox*, tamaño de la caja donde busca el centro aplicando el algoritmo elegido en unidades de la escala.

iii) *fitskypars*: parámetros para calcular los valores de cielo.

<code>(salgorithm = "mean")</code>	Sky fitting algorithm
<code>(annulus = 18.)</code>	Inner radius of sky annulus in scale units
<code>(dannulus = 6.)</code>	Width of sky annulus in scale units
<code>(skyvalue = 0.)</code>	User sky value
<code>(smaxiter = 10)</code>	Maximum number of sky fitting iterations
<code>(sloclip = 0.)</code>	Lower clipping factor in percent
<code>(shiclip = 0.)</code>	Upper clipping factor in percent
<code>(snreject = 50)</code>	Maximum number of sky fitting rejection iterat
<code>(sloreject = 3.)</code>	Lower K-sigma rejection limit in sky sigma
<code>(shireject = 3.)</code>	Upper K-sigma rejection limit in sky sigma
<code>(khist = 3.)</code>	Half width of histogram in sky sigma
<code>(binsize = 0.10)</code>	Binsize of histogram in sky sigma
<code>(smooth = no)</code>	Boxcar smooth the histogram
<code>(rgrow = 0.)</code>	Region growing radius in scale units
<code>(mksky = no)</code>	Mark sky annuli on the display
<code>(mode = "ql")</code>	

Los parámetros importantes aquí son *salgori*, tipo de algoritmo que se aplica para el calculo del valor de cielo; *annulus*, es el valor del radio interior del anillo que se tome para calcular el cielo alrededor del objeto; *dannulus*, el valor del radio de ese anillo.

NOTA: para fijar los valores de *annulus* y *dannulus*, se puede desplegar una imagen y utilizando la tarea *imexamine*, levantar un perfil del objeto (nos paramos sobre el objeto en el imagen y pulsamos la tecla “r”) y usar ese gráfico para elegir el valor de *annulus* (debería ser un poco mas grande que el valor de radio donde termina el objeto). Para *dannulus*, lo mas conveniente es elegirlo talque el area del anillo de cielo sea lo mas similar posible al area del circulo donde se integra el flujo del objeto.

iv) photpars:

```
(weighting = "constant")      Photometric weighting scheme for wphot
(apertures = "2,4,6,8,10,12") List of aperture radii in scale units
      (zmag = 22.5)           Zero point of magnitude scale
(mkapert = no)                Draw apertures on the display
      (mode = "q1")
```

Aquí son importantes los valores que elijamos de *apertures*, que están dados en unidades de la escala elegida y no son otra cosa que los radio de apertura donde se realizará la fotometría. Se suelen elegir mas de un valor, para luego elegir la más adecuada. Las elecciones de las aperturas se puede realizar usando el *imexime* de la misma manera descrita en el punto anterior.

e) Se fijan los parámetros y se corre la tarea *phot*. Lo que se busca es tener los archivos *ascii* que genera esta tarea (los *nombredelaimagen.mag.1* donde esta guardada la información de la fotometría dentro de cada radio de apertura elegido y no sólo para el objeto de estudio, si no también para la mayor cantidad de estrellas del campo posible.

Para correr la tarea *phot*, desplegar la imagen sobre la que se quiere realizar la fotometría, y luego correr la tarea. El cursor irá a la imagen y ahí nos paramos sobre el objeto, y con la barra espaciadora nos da los valores, nos paramos con el mouse sobre la primera estrella y nuevamente con la barra espaciadora tendremos los valores, nos movemos hacia la siguiente estrella y repetimos esta acción hasta que no querramos marcar mas estrellas. Luego, con “q” y otra vez “q” salimos de la tarea y grabamos los valores en un archivo *ascii*.

NOTA: Es importante que las estrellas en todas las imagenes sean las mismas y guarden la misma numeración. Para poder lograr esto, conviene correr la tarea *phot* con una imagen solamente. Una vez que tenemos el archivo *ascii .mag.1* de esa imagen, con la tarea *txdump* seleccionamos de este archivo los valores de “XCENTER” e “YCENTER”. Haciendo “>txdump nombredelarchivo.mag.1 xcen,ycen yes > coord.txt” genera un archivo con solo las coordenadas del objetos (el objeto de ciencia conviene que sea el primero en ser elegido). Este archivo se utiliza luego dentro del *phot* en la línea *coords*. Entonces, al correr el *phot* luego de la teclear barra espaciadora sobre el primer objeto de la lista, se tecllea “l” y de esta manera se hace la fotometría del resto de las estrellas de campo elegidas. De esta manera, en todos

los frames se podrán elegir las mismas estrellas y en la misma secuencia.

- f) Una vez que se tienen todos los archivos ascii con los valores de la fotometría sobre el objeto y la lista de estrellas para cada una de las imagenes, procedemos con la fotometría diferencial. Esto es, vamos a buscar la magnitud del objeto relativa a una estrella del campo. Para ello debemos elegir dos estrellas, una llamada de comparación y otra de control. Estas estrellas no pueden ser estrellas variables y además deben cumplir lo mejor posible con el siguiente criterio: **la estrella de comparación debería ser un poco mas brillante que el objeto y la de control con magnitud lo mas similar posible a la del objeto.**

Nuevamente, para elegir estas estrellas podemos utilizar la tarea *txdump* ahora pidiendole que nos liste, por ejemplo, “ID”, “mag[3]” de alguno de los archivos .mag.1 (el numero dentro de los corchetes luego de mag es para elegir la apertura donde queremos el valor de mag; recordemos que elegimos en mas de una apertura; este numero es la posición en la lista, no el valor de la apertura). Esto nos dará una lista por pantalla de las magnitudes instrumentales para un dado momento ya que elegimos un archivo en particular. Es conveniente hacer este procedimiento en distintos instantes para poder elegir mejor.

- g) Una vez elegidas ambas estrellas, se pueden levantar las curvas. Entonces, si T indica el objeto y S_1 es la estrella de comparación, tendremos que:

$$m_T = Z_0 - 2.5 \log F_T \quad (1)$$

$$m_1 = Z_0 - 2.5 \log F_1 \quad (2)$$

Luego,

$$\Delta m_T = (m_T - m_0) = -2.5 \log (F_T/F_1) \quad (3)$$

Con esto, buscamos levantar una curva dependiente del tiempo que, para cada punto t_i le corresponda un valor de $(m_T - m_0)_i$. Luego, tendremos la variación temporal de la fotometría diferencial, esto es, la curva de luz diferencial del objeto.

- h) De igual manera se procede con la segunda estrella, la de control (que llamaremos estrella S_2 , pero ahora restada con la misma estrella de comparación usada para el objeto. Se obtiene la curva de t_i vs. $\Delta m_2 = (m_2 - m_1)_i$. Toda variación en este curva será debida a efectos atmosféricos (por ejemplo, cambios en el seeing) o problemas instrumentales.
- i) Calculo de la variabilidad: Para poder saber si la fuente resultó variable, debemos calcular las dispersiones de cada una de estas curvas que hemos construido. O sea,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta m_i - \langle \Delta m \rangle)^2}{n - 1}} \quad (4)$$

Esta dispersión se calcula para ambas curvas. Luego, tendremos σ_T para la dispersión de la curva de luz diferencial del objeto y σ_2 para la dispersión de la curva de luz diferencial de la estrella de control. Con estos valores, podemos calcular el parámetro C , definido como:

$$C = \frac{\sigma_T}{\sigma_2} \quad (5)$$

Luego, si $C \geq 2.576 \mapsto$ el objeto en cuestión resulta ser variable con un 99 % de nivel de confiabilidad.

- 2) Con lo explicado en el inciso anterior, levante ambas curvas de luz diferenciales (el tiempo de observación puede ser extraído de los headers de las imagenes), calcule el parámetro C y responda el estado de variabilidad el blazar. NOTA 1: los valores necesarios para poder realizar toda esto estan en los archivos .mag.1 y pueden ser extraídos de allí. NOTA 2: Utilice el programa o la metodología que le resulte mas común para realizar los gráficos y los calculos (graficadores, planillas de calculo, etc.). Solo explique lo realizado.

COMENTARIO IMPORTANTE: (fuera de la práctica)

El parámetro C aquí definido es un estimador. En la realidad, lo mas adecuado es aplicar el mismo parámetro pero pesando la estadística con un factor llamado Γ . Esta factor fue introducido por Howell et al. (1988, AJ, 95, 247) y tiene en cuenta las diferencias de magnitudes entre el objeto, la estrella de comparación y la de control. Tengamos en cuenta que no siempre es posible encontrar estrellas en el campo de la imagen que cumplan exactamente con los requisitos planteados mas arriba. Y las diferencias entre las magnitudes instrumentales introducen error en las curvas, lo que lleva a que las dispersiones no sean, en todos los casos, las correctas, derivando en un parámetro C que puede ser erroneo (debido a los errores fotométricos la dispersión de la curva de luz del objeto más débil será mayor). Este tipo de problemas es mas importante cuando el valor de C es cercano al límite que define si una fuente es variable o no, tanto sea por debajo, como por sobre el valor 2.576. Usando el factor Γ , el parámetro C queda definido como:

$$C_\Gamma = \frac{\sigma_T}{\Gamma \sigma_2} \quad (6)$$

El factor Γ se construye de la siguiente manera:

$$\Gamma^2 = \frac{N_2^2}{N_T} \left[\frac{N_1^2(N_T + P) + N_T^2(N_1 + P)}{N_2^2(N_T + P) + N_T^2(N_2 + P)} \right] \quad (7)$$

donde: N_x es el número de fotones detectados para el objeto x , $P = n_p(N_s + N_r)$, N_s número de fotones correspondientes al anillo del cielo, N_r el ruido de lectura, n_p número de pixels dentro de la apertura elegida para la fotometría.

Si bien este método se aplica en la presente práctica al caso de un blazar, el mismo se utiliza para estimar la variabilidad de cualquier fuente astronómica.