

Introducción a la Astronomía de Rayos-X

Guía 05: Extracción de espectros

Introducción

Esta Guía describe el proceso necesario para extraer espectros denominados de *baja o media resolución* a partir de datos en modo **Imaging** de las cámaras **EPIC** (**PN** o **MOS**) de XMM-Newton.

Estas cámaras poseen una resolución espectral $R = E/\Delta E \sim 10-50$ en el rango de 0.3 a 10 keV, lo cual permite, por ejemplo, estimar la densidad columnar de material absorbente existente entre la fuente y el observador, expresada usualmente en función de la densidad columnar de hidrógeno; conocer la temperatura electrónica de un plasma caliente difuso capaz de generar radiación de continuo tipo *bremsstrahlung* para plasmas ópticamente delgados o tipo cuerpo negro para plasmas gruesos.

También es posible estimar las abundancias relativas de elementos astrofísicamente abundantes como el O, Mg, Si, S y Fe en plasmas térmicos; en el caso de fuentes no térmicas, el índice de la ley de potencias de la población de fotones puede ser estimado, así como la existencia de cortes exponenciales a altas energías, indicativos de la temperatura de los electrones calientes; en binarias de rayos-X o núcleos de galaxias activos.

Por otra parte, puede analizarse la emisión fluorescente de la línea de Fe K α a 6.4 keV, creada, por ejemplo, por la iluminación de un disco de acreción frío por fotones más energéticos, entre otras muchas aplicaciones asociadas directamente a la física de los procesos radiativos que actúan en las fuentes astrofísicas de altas energías.

Extracción de un espectro PN (o MOS) en SAS

A modo de ejemplo, consideremos la extracción de un espectro a partir de una lista de eventos de la cámara PN filtrada por GTI que se encuentra almacenada en el archivo *PNclean.fits*. Los pasos para extraer un espectro de las cámaras MOS son muy similares, por lo que únicamente alertaremos en esta guía los pasos en los que los parámetros o criterios utilizados difieren, anteponiendo “>>>”.

1) Inicializar el ambiente SAS y las variables *SAS_ODF*, *SAS_CCF* y *SAS_CCFPATH*.

2) Extraer una imagen en coordenadas del cielo usando *evselect*:

```
> evselect table=PNclean.fits imagebinning=binSize \  
  imageset=PNimage.img withimageset=yes xcolumn=X ycolumn=Y \  
  ximagebinsize=80 yimagebinsize=80
```

3) Abrir la imagen *PNimage.img* usando *ds9* y seleccionar una región circular en torno a la fuente de la que se pretende generar la curva de luz. Haciendo doble clic sobre la región circular y eligiendo coordenadas físicas en el despliegue, obtener las coordenadas del centro y el radio (400 unidades para un radio de 20”, por ejemplo).

4) Extraer el espectro de la fuente usando las expresiones de selección similares a las usadas para obtener las curvas de luz, y restringiendo los patrones a simples y dobles. Notar el rango de canales

utilizados:

```
> evselect table=PNclean.fits withspectrumset=yes \
  spectrumset=PN_src_spectrum.fits energycolumn=PI spectralbinsize=5 \
  withspecranges=yes specchannelmin=0 specchannelmax=20479 \
  expression='(FLAG==0) && (PATTERN<=4) && ((X,Y) IN FUENTE)'
```

>>> *En el caso de las cámaras MOS el rango de canales a utilizar abarca de 0 a 11999 y debemos usar la expresión '(FLAG==0) && (PATTERN<=12)'*

5) Repetir los pasos #3 y #4 para elegir una región de donde extraer el espectro de fondo. Es recomendable leer el manual de calibración y análisis de datos de *EPIC* ([XMM-SOC-CAL-TN-0018](#)) para obtener recomendaciones actualizadas acerca de cómo elegir estas regiones y sus tamaños. De ser posible, es recomendable extraer el fondo de una región libre de fuentes a la misma distancia del nodo de lectura (es decir, igual *RAWY*) que la fuente. En caso de no ser posible, es recomendable extraer el fondo del mismo CCD que la fuente o al menos del mismo cuadrante.

>>> *Para las cámaras MOS de ser posible, debe elegirse el fondo en el mismo CCD que la fuente, de lo contrario, es conveniente extraer el fondo de una región ubicada a la misma distancia del eje focal que la región de la fuente.*

```
> evselect table=PNclean.fits withspectrumset=yes \
  spectrumset=PN_src_bkg_spectrum.fits energycolumn=PI spectralbinsize=5 \
  withspecranges=yes specchannelmin=0 specchannelmax=20479 \
  expression='(FLAG==0) && (PATTERN<=4) && ((X,Y) IN FONDO)'
```

>>> *Nuevamente, en el caso de las cámaras MOS el rango de canales abarca de 0 a 11999 y debemos usar la expresión '(FLAG==0) && (PATTERN<=12)'*

En caso de que la fuente sea extendida y ocupe todo el campo de visión, o gran parte del mismo, una posibilidad es trabajar con las denominadas *listas de eventos de cielo despejado*.

6) Calcular el área de las regiones usadas para extraer la fuente y el fondo, que resultan necesarias para pesar correctamente sus flujos mutuos. Las áreas son introducidas en un campo del *header* de los espectros denominado *BACKSCAL*.

```
> backscale spectrumset=PN_src_spectrum.fits badpixlocation=PNclean.fits
> backscale spectrumset=PN_src_bkg_spectrum.fits badpixlocation=PNclean.fits
```

7) Usar la tarea *rmfgen* para crear una matriz de redistribución para el espectro extraído (esto puede llevar más de 30 minutos en computadoras pequeñas):

```
> rmfgen spectrumset=PN_src_spectrum.fits rmfset=PN_src.rmff
```

8) Generar la matriz auxiliar. Para fuentes *puntuales* usar *extendedsource=no detmaptype=psf*. Para fuentes *extendidas*, usar *extendedsource=yes detmaptype=flat* o bien generar un mapa de exposición con la tarea *expmap*).

```
> arfgen spectrumset=PN_src_spectrum.fits arfset=PN_src.arf \
  withrmfset=yes rmfset=PN_src.rmf badpixlocation=PNclean.fits \
  extendedsource=no detmaptype=psf
```

9) Reagrupar el espectro y vincularlo a los archivos asociados, tales como el espectro del fondo y las matrices (*RMF* y *ARF*). En el ejemplo, reagrupamos a un mínimo de 16 cuentas por canal, asegurando que el reagrupamiento no exceda un factor 3 en la pérdida de resolución.

```
> specgroup spectrumset=PN_src_spectrum.fits \
  mincounts=16 oversample=3 rmfset=PN_src.rmf arfset=PN_src.arf \
  backgndset=PN_src_bkg_spectrum.fits groupedset=PN_src_grp.fits
```

Esta opción de agrupamiento no es la única posible. Revisando la descripción de la tarea *specgroup* pueden encontrarse otras formas de realizarla.

10) El espectro agrupado puede ser ajustado usando XSPEC:

```
> heainit
> xspec
XSPEC12> data PN_src_grp.fits
XSPEC12> ignore bad
XSPEC12> cpd /xs
XSPEC12> setplot energy
XSPEC12> plot ldata
```

Ayuda/Guía: <https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/sas-thread-xspec>

Algunas recomendaciones especiales para PN:

Para fuentes brillantes o con líneas delgadas, puede ser mejor extraer dos espectros con sus respectivos fondos y matrices asociadas: uno para eventos de píxeles simples (*PATTERN==0*) y otro para eventos dobles (*PATTERN IN [1:4]*).

El ajuste simultáneo de estos dos eventos funcionará como un diagnóstico de posibles problemas debidos al *pile-up* y mostrará los detalles de líneas con mayor resolución en energía en los eventos simples (debido a que su calibración es mejor que la disponible para eventos dobles).

Para fuentes muy brillantes puede ser necesario corregir el espectro por eventos ocurridos durante el tiempo de lectura del CCD, denominados Out-of-Time (OoT) events. Comprende algunos pasos avanzados: <https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/sas-thread-epic-oot>

En el caso de observaciones en modo *timing* (donde la tasa de eventos simples y dobles depende de la posición de la fuente), es necesario crear y ajustar siempre un espectro combinado de eventos simples y dobles. Para mayor detalle del análisis espectral de datos obtenidos en modos *Timing* y *Burst*, consultar también [XMM-SOC-CAL-TN-0018](#).

Ayuda/Guía: <https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/sas-thread-pn-spectrum>

Algunas recomendaciones especiales para MOS:

En general, es recomendable utilizar (*PATTERN* in [0:12]). Sin embargo, los eventos con (*PATTERN*==0) pueden ser usados para minimizar los efectos de *pile-up* para fuentes brillantes.

En el caso de observaciones en modo *Timing*, es conveniente elegir únicamente eventos con (*PATTERN*==0) para la fuente y (*PATTERN*==0,1,3) para el fondo extraído de los CCDs externos. Para más detalles y recomendaciones actualizadas, revisar también [XMM-SOC-CAL-TN-0018](https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/sas-thread-mos-spectrum).

Ayuda/Guía: <https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/sas-thread-mos-spectrum>

El caso del AXP 1E 1841-045 y el SNR Kes 73 usando XSPEC

- 1) A partir de la listas de eventos filtradas **PNclean.fits**, **MOS1clean.fits** y **MOS2clean.fits** de la **ObsID 0013340201**, extraer un espectro de AXP 1E 1841-045 utilizando una región circular de 400 unidades físicas de radio, con un agrupamiento de 16 cuentas por canal, que permita la posibilidad de utilizar una estadística de χ^2 para su ajuste. Elegir una región de fondo por fuera del SNR Kes 73, que puede ser la misma que fuera utilizada para la curva de luz.
- 2) Cargar los espectros obtenidos en XSPEC y realizar el ajuste proponiendo una ley de potencias absorbida como modelo espectral, en el rango de 0.8–8.0 keV. Intentar el ajuste utilizando un modelo de cuerpo negro o una combinación con una ley de potencias y discutir los resultados.
- 3) A partir de la listas de eventos filtradas **PNclean.fits**, **MOS1clean.fits** y **MOS2clean.fits** de la **ObsID 0013340201**, extraer un espectro del SNR Kes 73 utilizando una región circular que abarque todo el remanente, y una región circular de 600 unidades físicas que excluya la emisión proveniente del AXP. Utilizar nuevamente un agrupamiento de 16 cuentas por canal. Elegir una región de fondo por fuera del SNR Kes 73, que puede ser la misma que fuera utilizada en el punto (1).
- 4) Cargar los espectros obtenidos en XSPEC y realizar el ajuste proponiendo un modelo de plasma térmico fuera del equilibrio de ionización, en el rango de 0.8–5.0 keV. Intentar con un modelo de plasma térmico en equilibrio, e incorporar una ley de potencias al ajuste y discutir los resultados.