

Csillagászati Laboratórium II.

6. óra: Apertúra fotometria

A megfigyelő csillagászzal foglalkozó kutatóknak nem könnyű a feladatuk, ugyanis számukra egyetlen egy megfigyelhető dolog van: az égi objektumok elektromágneses sugárzása. A sugárzást több hullámhosszon, illetve hullámhossz-tartományon figyelik meg a tudósok. Az integrált összfluxuson kívül még megfigyelhető az égi objektumok sugárzásának spektrális eloszlása is.

Az egyes csillagok fényességének a megállapítása több módon történhet. Mivel a csillagok mindig pontszerű objektumok, ezért fényességeiknek a megállapítására pontos, jól működő módszereket dolgoztak ki. A félév során két módszerrel fogunk megismerkedni: az *apertúra*- illetve a *psf*-fotometriával.

Mivel a *psf*-fotometria elvégzéséhez amúgy is kell az apertúra fotometria (kezdő iterációs értéknek), ezért a képeken előbb az apertúra fotometriát végezzük el.

1. Az apertúra fotometria elméletben

Az apertúra fotometria a legegyszerűbb fotometriai módszer, és sok esetben az egyetlen módszer, mi alkalmazható. A csillag közepe körül egy bizonyos kör alakú apertúrán belül lévő pixelek intenzitásait mérjük meg hozzá. Természetesen itt nem csak a csillag fényessége ad fluxust a pixelekhez, hanem az égi háttér is. Erre korrigálni kell. Egyenletekbe öltve:

A kör alakú apertúrán belül lévő pixelek összfluxusa:

$$F_{teljes} = \sum_i I_i$$

Ha az égi háttér értéke: $\langle B \rangle$, akkor az objektum fluxusa:

$$F = \sum_i I_i - N \langle B \rangle$$

Így a csillag instrumentális fényessége:

$$M_i = -2.5 \log \left(\sum_i I_i - N \langle B \rangle \right)$$

Kérdés lehet, hogy a háttér értékét honnan tudjuk? Mivel a képeken a háttér értéke akár jelentősen is változhat (gondoljunk csak a nebuláris régiókra), ezért nem választhatunk egy univerzális értéket az egész képre, hanem csillagonként kell megállapítani egy háttér értéket. Ezt úgy tesszük, hogy az előbb meghatározott kör alakú apertúrán kívül, egy gyűrű alakú apertúrán belüli pixelek átlagértékét meghatározzuk. Ezért is volt a B background érték átlaga $\langle B \rangle$ véve a képletben.

Ahogy a fotometriához alkalmazott apertúra méretét változtatjuk, úgy változik a jel/zaj aránya. Természetesen úgy kell megválasztani az apertúra méretét, hogy a csillagból a lehető legtöbb fény tartozzon az apertúrába, míg a lehető legkevesebb háttér érték. A legjobb apertúra méret a legnagyobb jel/zaj arány mellett található.

Ha csak apertúra fotometriát végzünk, akkor vigyázni kell, hogy standard csillagok méréséhez használt apertúra mérete ugyanakkora legyen, mint a vizsgált csillagok méréséhez használt apertúra. Ha nem ugyanakkora, akkor különböző mennyiségét fogjuk mérni a beérkező fluxusoknak, így hamis eredményt kapunk. Ekkor szokás elvégezni az úgynevezett „apertúra korrekciót”, melynél megállapítjuk egyszerű extrapolációval, hogy mennyinek mérnénk a csillagok fényességét nagyobb (vagy kisebb) apertúrával. A laboron apertúra-korrekciót nem fogunk csinálni, mivel nálunk az apertúra fotometria csak iterációs kezdőértéknek kell a *psf* fotometriához.

1.1. Apertúra fotometria az *IRAF*-fal

Előző órán „kedvenc” csillagkereső algoritmusunkkal megkerestük a csillagokat az NGC 2126-os illetve az M67-es képeken. Ugyan az M67-es képeken csak 19 darab csillagnak a fényességére leszünk kíváncsiak, de a pontosabb psf profil kialakítása végett több csillagnak fogjuk megmérni az apertúra fotometriai fényességét. Majd a végső listákból kiválogatjuk a megfelelő 19 csillagot a pixel-koordinátájuk alapján.

A fotometriát a `noao.digiphot.daophot` csomagon belül található *TASK*-okkal hajtjuk végre. Korábbi óran a `daopars`, `datapars`, `findpars` értékeket már beállítottuk, így azokkal már nem kell nagyon foglalkozni.

Ahhoz, hogy pontos legyen a fotometriánk pár értéket meg kell néznünk konkrétan, hogy azok hogyan alakulnak képenként, szűrőnként. Előbb nézzük meg, hogy egyáltalán milyen paraméterei vannak a `phot`-nak:

```
PACKAGE = daophot
TASK = phot

image = Input image(s)
coords = Input coordinate list(s) (default: coo.?)
output = Output photometry file(s) (default: mag.?)
skyfile = Input sky value file(s)
(plotfil= ) Output plot metacode file
(datapar= ) Data dependent parameters
(centerp= ) Centering parameters
(fitskyp= ) Sky fitting parameters
(photpar= ) Photometry parameters
(interac= no) Interactive mode ?
(radplot= no) Plot the radial profiles?
(verify = no) Verify critical phot parameters ?
(update = )_.update) Update critical phot parameters ?
(verbose= )_.verbose) Print phot messages ?
(graphic= )_.graphics) Graphics device
(display= )_.display) Display device
(icomman= ) Image cursor: [x y wcs] key [cmd]
(gcomman= ) Graphics cursor: [x y wcs] key [cmd]
(mode = ql)
```

A `phot`-ot mi *IRAF* scripttel fogjuk vezérelni, de azért megnézzük, hogy melyik paraméterrel mit szabályozunk. Az `image`-hez természetesen a fotometriálni kívánt képek listája kerülne. A `coords` helyére a csillagok koordinátalistája kerülne. Ha a csillagkeresést `daofind`-dal végeztétek, akkor ide be lehetne írni, hogy „default”. Ha a *Source Extractor*-t használtátok, akkor a csillagkereséskor létrejött „*.cat” fájlok listáját kellene ide beírni (@-cal természetesen). Az `output` részt default-on kéne hagyni. `Skyfile`-jaink nincsenek, így az a sor üresen marad. A korábbiakban a `datapars` értékeit beállítottuk. A `centerpars` értékeit nyugodtan hagyhatjuk az alapbeállításokon.

A `fitskypars` értékeit nézzük meg kicsikét közelebbről („:e”):

```
PACKAGE = daophot
TASK = fitskypars
```

```
(salgori=          mode) Sky fitting algorithm
(annulus=         11.) Inner radius of sky annulus in scale units
(dannulu=         5.) Width of sky annulus in scale units
(skyvalu=         0.) User sky value
(smaxite=        10) Maximum number of sky fitting iterations
(sloclip=         0.) Lower clipping factor in percent
(shiclip=         0.) Upper clipping factor in percent
(snrejec=        50) Maximum number of sky fitting rejection it.
(sloreje=         3.) Lower K-sigma rejection limit in sky sigma
(shireje=         3.) Upper K-sigma rejection limit in sky sigma
(khist =         3.) Half width of histogram in sky sigma
(binsize=        0.1) Binsize of histogram in sky sigma
(smooth =         no) Boxcar smooth the histogram
(rgrow =          0.) Region growing radius in scale units
(mksky =         no) Mark sky annuli on the display
(mode =          ql)
```

Ezek azok a paraméterek, melyek az égi-háttér értékének a megállapítását szabályozzák. Érdemes elolvasni a fitskypars help-jét (*IRAF* promptba beírva, hogy: `help fitskypars`), igencsak informatív.

- `salgorithm`: A sky értékét meghatározó algoritmus. Ezt hagyjuk az alap mode-on.
- `annulus`: Az égi-háttér érték meghatározásához használt körgyűrű belső sugara (az alapskála egységben... esetünkben ez a pixel).
- `danullus`: A körgyűrű vastagsága (itt is pixelegységben).
- `skyvalue`: Itt le lehetne vonni az égi háttér értékét.
- `smaxiter`: A maximális iterációs szám. Ezt csak a „gauss” illetve az „ofilter” algoritmus használja.
- `sloclip` és `shiclip`: Megadja, hogy a pixelek alsó illetve felső részének hány százalékát vegye ki az algoritmusból.
- `snreject`: A hibás pixeleket kiszedő algoritmus maximális iterációs száma.

...

A photpars ennél kicsit rövidebb paraméterlistájú:

```
PACKAGE = daophot
TASK = photpars
```

```
(weighti=          constant) Photometric weighting scheme
(apertur=          5) List of aperture radii in scale units
(zmag =           25.) Zero point of magnitude scale
(mkapert=         no) Draw apertures on the display
(mode =           ql)
```

A `weighting` rész a phot *TASK*-nál nem lényeges, ugyanis nem használja. Az `apertures` részhez a fotometriához használni kívánt apertúrát adjuk meg. Ha esetleg több apertúrával is meg szeretnénk határozni a fényességet, akkor ide apertúra listát is meg lehet adni. Ez az apertúra korrekciónál hasznos dolog, ugyanis így lehet könnyen és gyorsan több apertúráról is meghatározni a fényességet. Mi csak egynél fogjuk! A `zmag` a fotometria zéruspontját adja meg. Ezzel lehet egy konstanssal tologatni, hogy mekkora legyen a végső instrumentális magnitúdó értékünk. Ezt hagyjuk az alapbeállításon, tehát 25-ön.

A felsorolt sok paraméter közül el kell döntenünk, hogy melyek azok, melyek akár képről képre is képesek változni (még azonos szűrőnél is). A változások leginkább a zenittávolság illetve az időjárásnak tudható be

általában. Ezt szokták úgy mondani, hogy változik a „seeing”... azaz, hogy mekkora a csillagok intenzitás-eloszlásának félértékszélessége ivmásodpercben. Az általános piszkéstetői „seeing” olyan 3-4 között szokott lenni.

Így logikusan gondolkodva azt mondhatjuk, hogy ami változhat, az az égi háttér értéke (illetve annak szórása) és a csillagok félértékszélessége. Ezek a beállítható paraméterek közül a következőket érinti: `fwhmpsf`, `sigma`, `datamin`, `annulus`, `aperture`.

Korábbiakban már használtuk az `imexam TASK`-ot arra, hogy egyes képekből információt nyerjünk ki. Most is ezt fogjuk tenni. Először állítsuk be az `imexamine` paraméterfájlját úgy, hogy loggolja az eredményeket, amiket kiad:

```
PACKAGE = tv
TASK = imexamine

input = images to be examined
(output = ) output root image name
(ncoutpu= 101) Number of columns in image output
(nloutpu= 101) Number of lines in image output
frame = 1 display frame
image = image name
(logfile= imex.log) logfile
(keeplog= yes) log output results

...
```

Mivel az `imexamine` tapasztalat szerint „furán” működik beadott képlistákkal, ezért egyenként fogjuk meghívni a képeket egy *IRAF* scripttel. Bash-ban hozzuk létre a scriptet:

```
$ for i in tft*.fit;do echo "display" $i "1";echo "imexam";done > imexam.c1
```

Ezt a scriptet hívjuk meg *IRAF*-ban (`c1 < imexam.c1`) és minden egyes képre mérjük meg a háttér körülbelül 10 helyen az „m” billentyű lenyomásával, majd körülbelül 10 csillagnak a félértékszélességét az „a” billentyű lenyomásával. **FONTOS!** Ne kevergessük a sorrendet, azaz a billentyűsor legyen: `mmmmmmaaaaa` vagy esetleg `aaaaammmmm`, de nem `amaaaamma`. Ha végeztünk egy képpel, akkor a „q” lenyomásával léphetünk a következő képre.

Ha végeztetek a képekkel, akkor a labor honlapjáról letölthető `processimex.csh` nevű scriptet futtassátok le a létrejött `imex.log` nevű fájlra a következő szintaxissal:

```
$ ./processimex.csh imex.log
```

Ez létre fog hozni egy `imex.pars` nevű fájlt, melyben az egyes képekhez társítható háttér, háttér szórással illetve félértékszélességek átlaga van. Nézzétek meg, hogy van-e nagyon szélsőséges érték a fájlban, a többiekhez képest. Ha van, akkor azt egy „félremért” pont okozhatta az `imex.log`-ban. Azt vegyétek ki a logfájlból és futtassátok le újra a `processimex.csh`-t

Ezek után ugyanezt az algoritmus sorozatot csináljátok meg az NGC 2126-os képekre. Itt majd a `processimex.csh` scriptet kicsit át kell, hogy írjátok (M67 helyére NGC2126-ot kell írni).

1.2. A phot futtatása

Mielőtt a fotometriát futtatnánk, számoljuk ki a képekhez tartozó levegőtömegeket. Ezt a legegyszerűbben az `asthed` nevű *IRAF TASK*-kal tehetjük meg. A labor honlapjáról töltsétek le a `setair` nevű parancs-sorokat tartalmazó fájlt. Ezt kell az `asthed`-nek megadni, mint `command` fájlt. Azaz a paraméterlistája kitöltve valahogy így kell, hogy kinézzen:

```

PACKAGE = astutil
TASK = asthedit

images =          *.fit  Images to be operated upon
commands=        setair  File of commands
(table =         )      ) File of values
(colname=        )      ) Column names in table file
(prompt =        )      ) Prompt for STDIN commands
(update =        yes)    ) Update image header?

...

```

Ezt mind az NGC2126-is, mindpedig az M67-es képekre futtassátok le! Ennek hatására az *IRAF* kiszámolja, hogy adott földrajzi koordinátánál nézve, adott égi koordinátánál levő objektum adott időben milyen zenittávolságnál található. A zenittávolságból pedig ki lehet számolni az adott levegőtömeget, amin át nézzük az objektumot.

Az apertúra fotometriát elvégző *IRAF TASK*-ot, mint korábban említettem, scriptekkel fogjuk vezérelni. Egy előre megírt, *IRAF* scriptet generáló bash script `run1.sh` néven letölthető a labor honlapjáról. Ezt nézzük át:

```

#!/bin/bash
awk '{print "phot", "image="$1, "coords="$1".cat", \
"fwhmpsf="$4, "sigma="$3, "datamin="$2-7*$3, \
"annulus="3.8*$4, "dannulus="5, "apertur="3.8*$4, \
"output=default", "verify=no"}' imex.pars >> run.cl

awk '{print "pstselect", $1, "photfile=default", \
"pstfile=default", "maxnpsf="40, "fwhmpsf="$4, \
"sigma="$3, "datamin="$2-7*$3, "function=moffat"25, \
"varorde="2, "psfrad="3.8*$4, "fitrad="2.8*$4, \
"sannulu="3.8*$4, "wsannul="5, "verify=no"}' imex.pars >> run.cl

```

Mint látható, ez két különálló részből áll. Mit is csinál ez a script? Az `imex.pars` nevű fájlból veszi a képek neveit illetve a hozzá tartozó adatokat, és generál egy *IRAF* scriptet ezek alapján.

A phot-os rész:

A képnévhez az első oszlop adatát adja meg. A koordinátafájlnak a `daophot` vagy a *Source EXtractor* által adott koordinátafájl nevet tudjuk megadni (*Source EXtractor* esetén a „`.coo.1`”-et írjuk át a megfelelő „`.cat`”-ra). A félértékszélességnek („`fwhmpsf`”) a megállapított értéket adja meg. Sigma-nak az *STDDEV* értéket adjuk meg. A `datamin` értéke a korábban megbeszélt „háttérértékből a szórás hétszere” értéket adjuk meg. A későbbi eredményeknek megfelelően az ezutáni értékeket lehet alakítani: `annulus`, `danullus`, `apertur`, legalábbis ezeknek a szorzó együtthatóinak az értékét. Először nézzük meg az alpból beállított paraméterekkel.

A pstselect-es rész:

A `pstselect TASK`-ról eddig nem volt szó, így nagyon röviden ismerkedjünk meg vele előbb:

A későbbi profil illesztéses fotometriához szükség lesz csillagokra, melyeknek az intenzitás-eloszlására illesztjük a modell függvényeket. Ehhez olyan csillagokra van szükség, melyek jól reprezentálják azt, hogy milyen is egy csillag fényének az eloszlása a távcső fókusz síkjában. Elméletileg ehhez elég lenne egyetlen csillag is, de gyakorlatban nem lehet találni ehhez megfelelőt, így több csillagnak az átlag intenzitáseloszlását szokás illeszteni.

Logikusan is elgondolva, olyan csillagok jöhetnek szóba, melyek fényesek (de nem égtek be), nincs a közelükben másik csillag és nincsenek közel a kép széléhez. A vizsgálatához célszerű a képmezőről egyenletesen

mintavételezni csillagokat. Ezt a feladatot csinálja meg a `pstselect` nevű *TASK*. Az eredeti paraméterlistája így néz ki:

```
PACKAGE = daophot
TASK = pstselect

image = Image for which to build psf star list
photfile= default Photometry file (default: image.mag.?)
pstfile = default Output psf star list file
maxnpsf = Maximum number of psf stars
(mkstars= no) Mark deleted and accepted psf stars
(plotfil= default) Output plot metacode file
(datapar= ) Data dependent parameters
(daopars= ) Psf fitting parameters
(interac= no) Select psf stars interactively ?
(plottyp= mesh) Default plot type (mesh|contour|radial)
(icomman= ) Image cursor: [x y wcs] key [cmd]
(gcomman= ) Graphics cursor: [x y wcs] key [cmd]
...

```

Futtassátok le a `run.sh` nevű scriptet abban a mappában, ahol a képek és az `imex.pars` található. A létrejött *IRAF* script (`run.cl`) valahogy így fog kinézni:

```
phot image=tft332.fit coords=tft332.fit.cat fwhmpsf=4.8 sigma=3.8
datamin=74.7 annulus=18.24 dannulus=5 apertur=18.24 output=default
verify=no
...

pstselect tft332.fit photfile=default pstfile=default maxnpsf=40
fwhmpsf=4.8 sigma=3.8 datamin=74.7 function=moffat25 varorde=2
psfrad=18.24 fitrad=13.44 sannulu=18.24 wsannul=5 verify=no
...

```

Mint látható a paramétereket a generált script szépen beállítja, illetve a `datapars` és a `daopars`-ban is átállít egy-két értéket képenként. Ezt a `run.cl` nevű fájlt adjuk be az *IRAF*-nak, és nézzük meg, hogy mi lesz. Ne feledjük, hogy az NGC 2126-os képeknél a képek nomenklatúrája kicsit megváltozott az `imwcs` hatására, így a koordináták helyére nem elég se `default`-ot se „`.cat`”-ot beírni:

```
da> unlearn phot
da> unlearn pstselect
da> cl < run.cl

```

Az NGC2126-os képekhez az átírandó dolgok:

- A `processimex.csh` nevű fájlban: M67-et NGC2126-ra átírni, illetve írjátok át a `substr($3,1,10)` részt `substr($3,1,5)`-re. Ez azt csinálja, hogy a \$3-as részből csak az 1-től az 5-ös karakterig veszi a karaktereket (majd így tudjuk a fájlnéveket megoldani).
- A `run1.sh`-ban írjátok át a következő részeket:
"image=\$1, "coords="\$1".cat"-et → "image="\$1"w.fits", "coords="\$1".fit.cat"-re. Illetve a `phot`-os résznél pedig a \$1-et → \$1"w.fits"-re. Természetesen ha más elnevezéseket használtatok, akkor annak megfelelően alakítsátok át.

MIVEL ÖSSZESEN CSAK NÉGY DARAB KÉPRŐL VAN SZÓ, EZÉRT AKÁR A LÉTREJÖTT `RUN.CL` NEVŰ FÁJLT IS ÁTÍRHATJÁTOK LOGIKUSAN, NEM KELL A `run.sh`-BA BELENYŰLNI, AKINEK ÚGY KÉNYELMESEBB... VALÓSZÍNŰLEG AZ A GYORSABB MEGOLDÁS. A `processimex.csh`-T MINDENKÉPP ÁT KELL ÍRNI.

Kérdések, feladatok:

- 1. Nézzétek végig és értelmezzétek az apertúra fotometriához szükséges paraméterfájlok paramétereit.*
- 2. A syllabusz alapján mérjétek meg mind az M67-es mind az NGC 2126-os képeken a háttér és a háttér-szórás értékét. Határozzátok meg, hogy mekkorák a csillagok átlagos félértékszélességei is. A honlapról letölthető scriptekkel számoljátok ki képenként ezen paraméterek átlagait.*
- 3. A létrejött `imex.pars` fájlt másoljátok be táblázatként a dolgozatba. Tipp: egyszerű scripttel az \mathcal{E} jeleket könnyen az oszlopok közé tudjátok szűrni ... így kb. 10 másodperc ezt a táblázatot létrehozni.*
- 4. A honlapról letölthető scripttel hozzátok létre a fotometriát végző IRAF scriptet.*
- 5. IRAF-ban futtasátok le ezt a scripteket mind az M67-es, mind az NGC 2126-os képekre.*
- 6. Értelmezzétek, hogy melyik szűrővel készült képeken milyen az átlagos félértékszélessége a csillagoknak, illetve, hogy a háttér átlagos értéke mekkora! Mitől adódhat az eltérés?*