

Redukcja danych ze spektrografu 10C

Listopad 2025

W każdym momencie gdy pracujemy w okienku graficznym IRAFa (dopasowanie funkcji, wybór apertur, wyrysowywanie widma) możemy zrobić zrzut wykresu do pliku eps wpisując `”:snap eps”`. Wykresy z poszczególnych etapów redukcji będą mile widziane w sprawozdaniu ;) Szczególnie te oznaczone gwiazdką `*`.

1 Tworzenie list plików

Przykład dla plików dark:

```
ls dark*.fits > dark.lst
```

2 Przygotowanie IRAFa

W zależności od zainstalowanej wersji IRAFa:

- W katalogu z danymi polecenie:

```
mkiraf
```

i wybieramy terminal `”xgterm”`. Edytujemy utworzony plik `”login.cl”` odkomentowując linie 34 i 35 oraz ustawiając `imtype` jako `fits` (wymagane w starszych wersjach IRAFa):

```
set      imtype  = ”fits”  
set      imextn  = ”oif:imh fxf:fits , fit fxb:fxb plf:pl qpf:qp stf:hhh,??h”
```

Włączamy terminal `xgterm` (najlepiej z opcją `-sb`, która włącza scrollbar) i odpalamy `irafa` poleceniem `”cl”`.

- Na większości komputerów w SPK po prostu włączamy terminal `xgterm` (najlepiej z opcją `-sb`, która włącza scrollbar), a następnie uruchamiamy `irafa` poleceniem `”irafcl”`.

3 Tworzenie średniego zdjęcia bias

W IRAFie przechodzimy kolejno do:

```
noao  
imred  
ccdred
```

Parametry danego polecenia edytujemy wpisując `”epar nazwa_polecenia”`. Jeżeli chcemy przywrócić parametry polecenia do wartości domyślnych wpisujemy `”unlearn nazwa_polecenia”`.

Edytujemy parametry `”ccdred”` (w większości przypadków konieczne jest to tylko dla starszych wersji IRAFa):

```
epar ccdred
```

ustawiając:

```
instrum=ccddb$kpno/fibers.dat
```

Zapisujemy zmienione parametry wciskając CTRL+D (wyjście bez zapisu: CTRL+C).

Edytujemy teraz parametry polecenia "zerocombine":

```
input=@bias.lst <- lista biasow
output=Zero
combine=median
ccdtype=
```

Po zapisaniu ustawionych parametrów polecenie włączamy wpisując "zerocombine" lub jeszcze w trybie zmiany parametrów wpisując ":go". Wynikiem powinno być utworzenie zdjęcia "Zero.fits".

4 Tworzenie średniego zdjęcia dark

Do utworzenia średniego pliku dark posługujemy się poleceniem "darkcombine". Edytujemy następujące parametry tego polecenia:

```
input=@dark10s.lst
output=Dark10s
combine=median
ccdtype=
process=yes
scale=exposure
```

oraz edytujemy parametry polecenia "ccdproc":

```
ccdtype=
fixpix=no
oversca=no
trim=no
zerocor=yes
darkcor=no
flatcor=no
zero=Zero <- nazwa sredniego zdj bias
```

Po zapisaniu parametrów i odpaleniu polecenia "darkcombine" powinniśmy otrzymać plik o nazwie "Dark.fits".

5 Tworzenie średniego zdjęcia flatfield

Korzystamy z polecenia "flatcombine", które będzie wykorzystywało również polecenie "ccdproc" (do odjęcia średniego zdjęcia dark oraz bias od każdej klatki flatfield). Zmieniamy następujące parametry polecenia "flatcombine":

```
input=@flat.lst
output=Flat
combine=median
```

```
ccdtype=  
process=yes
```

oraz parametry polecenia "ccdproc":

```
ccdtype=  
fixpix=no  
oversca=no  
trim=no  
zerocor=yes  
darkcor=yes  
flatcor=no  
zero=Zero <- nazwa sredniego zdj bias  
dark=Dark <- nazwa sredniego zdj dark
```

W wyniku działania polecenia "flatcombine" otrzymamy średnie zdjęcie Flat.fits.

6 Dopasowanie przebiegu widma lampy do flatów i normalizacja*

Przechodzimy do:

```
noao  
twospec  
longslit
```

Korzystamy z polecenia "response", które umożliwi nam dopasowanie przebiegu widma lampy halogenowej i znormalizowanie flatów. Wcześniej otwieramy w ds9 zdjęcie średniego flatu i sprawdzamy w jakim obszarze matrycy znajduje się widmo lampy (ymin i ymax). Parametry polecenia "response":

```
calibrat=nazwa_sredniego_flatu (w tym przypadku Flat)  
normaliz=Flat [* ,ymin:ymax]  
response=nFlat  
interac=yes
```

Po odpaleniu polecenia potwierdzamy chęć skorzystania z trybu interaktywnego oraz ułożenie osi dyspersji wzdłuż rzędów matrycy CCD. Pojawi nam się okno z przebiegiem widma lampy oraz próbą dopasowania. Zmieniamy rząd dopasowania wpisując:

```
:order nr_rzedu
```

np ":order 50". Po wciśnięciu "f" program robi nowe dopasowanie. Zwiększamy rząd tak długo, aż otrzymamy satysfakcjonujące dopasowanie. Fragmenty widma możemy powiększać wciskając "w", a następnie "e" w lewym dolnym i "e" w prawym górnym rogu fragmentu który chcemy powiększyć. Wciśnięcie "w", a następnie "a" spowoduje powrót do widoku całego widma. Na końcu wciskamy "q". Plikem wynikowym będzie znormalizowany średni flatfield o nazwie nFlat.fits.

7 Redukcja widma obiektu

Możemy przejść teraz do redukcji naszego widma. Ponownie przechodzimy do "ccdred":

```
noao
imred
ccdred
```

i edytujemy parametry polecenia "ccdproc":

```
images=nazwa_zdjecia_z_widmem
output=nazwa_zdjecia_po_redukcji
ccdtype=
fixpix=no
oversca=no
trim=yes
zerocor=yes
darkcor=yes
flatcor=yes
trimsec=[*,ymin:ymax]
zero=Zero <- nazwa_sredniego_zdj_bias
dark=Dark <- nazwa_sredniego_zdj_dark
flat=nFlat <- nazwa_znormalizowanego_sredniego_zdj_flat
```

Odpalenie polecenia "ccdproc" spowoduje redukcję zdjęcia z widmem na średni dark (uwaga na czas ekspozycji pliku dark - musi być zgodny z czasem eksp. widma obiektu) oraz znormalizowany flatfield, a także przycięcie naszych zdjęć do obszaru w którym znajduje się widmo (ymin i ymax wyznaczone ze zdjęcia flatfield, ale nieco szersze niż w poleceniu response). Plikiem wynikowym będzie zredukowany fits np rWesta.fits.

8 Wyodrębnienie widma 1D ze zdjęcia*

```
noao
twospec
apextract
```

W parametrach "apextract" zmieniamy:

```
dispaxi=1
```

Korzystamy z polecenia "apall". W parametrach w zasadzie wystarczy podać nazwę pliku wejściowego:

```
input=nazwa_zredukowanego_zdjecia_z_widmem
```

Po odpaleniu polecenia potwierdzamy chęć znalezienia apertur dla naszego zdjęcia, podajemy aby IRAF znalazł automatycznie jedną aperturę i twierdząco odpowiadamy na kolejne pytania. W końcu pojawi nam się wykres z przekrojem przez widmo, do którego dobierać będziemy aperturę (tutaj również działają klawisze "w" "e" "e" i "w" "a", które pozwalają nam powiększać i oddalać widmo - patrz sekcja 5). Powinnismy widzieć jeden wyraźny pik. Usuwamy automatycznie znalezione położenie maksimum klikając na nim "d" (chyba że uważamy, że jest ok). W okolicy centrum przekroju

wciskamy "n" aby zaznaczyć środek apertury (lub "m" aby program znalazł maksimum najbliżej kursora), a następnie klikając na odpowiednim poziomie piksu "y" (najlepiej raczej przy dole) dobieramy szerokość apertury (lub ręcznie: "l" - dla dolnego zakresu i "u" - dla górnego). Pozostaje jeszcze lepiej dopasować tła. W tym celu wciskamy "b", usuwamy stare zakresy wciskając na nich "z", a następnie ustawiamy nowe obszary dopasowania tła wciskając "s" na początkach i końcach zakresów. Wciśnięcie "f" spowoduje dopasowanie tła do nowo wybranych zakresów. Wychodzimy "q" z dopasowania tła, a następnie ponownie "q" aby przejść do śledzenia apertury wzdłuż osi dyspersji.

Odpowiadamy twierdząco na wszystkie pytania (chyba, że nie chcemy dopasowywać przebiegu widma, tylko założyć, że układu się idealnie wzdłuż rzędów matrycy, tak jak np. w ćwiczeniu z wyzn. prędkości rotacji Jowisza - wtedy na pytanie o śledzenie "trace" apertury odpowiadamy przecząco) i pojawia nam się okno podobne do tego z sekcji 5 dotyczącej dopasowania przebiegu widma lampy halogenowej. Znowu staramy się znaleźć dobre dopasowanie zmieniając jego rząd (np. "order 10" i klawisz "f" aby zrobić nowe fitowanie). Po znalezieniu odpowiedniego dopasowania wychodzimy klawiszem "q". Po odpowiedzeniu twierdząco na wyskakujące pytania, pojawia nam się nasze widmo, wciąż jednak wyskalowane jeszcze w pikselach, a nie w długości fali. Wychodzimy wciskając ponownie "q". Domyślnymi plikami wyjściowymi (z jednowymiarowymi widmami) są pliki z rozszerzeniem ".ms.fits" (można to zmienić ustawiając parametr "output").

9 Wyodrębnienie widma lamp kalibracyjnych

Widma kalibracyjne wyodrębniamy w sposób analogiczny, ze zdjęcia zawierającego widmo lampy. W poleceniu "apall" oprócz nazwy pliku wejściowego (podajemy plik z widmem lamp kalibracyjnych) oraz wyjściowego (np. cal1) zmieniamy jeszcze jeden parametr:

```
nsum=500
```

Dzięki niemu dostaniemy przekrój przez widmo zsumowany po 500 kolumnach (jest to istotne ponieważ widmo kalibracyjne jest emisyjne, a nie ciągłe i przekrój mógłby trafić na fragment zdjęcia na którym akurat nie ma linii).

Na początku warto jest usunąć apertury dobrane automatycznie - tutaj akurat IRAF zwykle nie radzi sobie najlepiej. Tym razem zaznaczamy jedną aperturę od widma kalibracyjnego (uwaga - maksymalny pik może być związany z widmem gwiazdy, a tylko dwa boczne, szersze pochodzą od lamp kalibracyjnych - ten od widma gwiazdy pomijamy) i znowu poprawiamy zakresy dopasowania tła (po usunięciu automatycznie dobranych zakresów warto oddalić wykres wciskając "w" "a"). W tym przypadku pomijamy śledzenie apertury wzdłuż osi dyspersji na pierwsze pytanie odpowiadając "no", a na pozostałe "yes" aż wyświetli się wyodrębnione widmo kalibracyjne. Procedurę powtarzamy również dla drugiego widma kalibracyjnego, w parametrach zmieniając tylko "output" na np. cal2.

Jednowymiarowe widma możemy wyrysować poleceniem:

```
splot nazwa_pliku
```

Z okna z wykresem widma wychodzimy wciskając "q" (nie zamykamy go krzyżykiem!)

10 Identyfikacja linii widmowych lamp kalibracyjnych*

Ze strony <https://www.oa.uj.edu.pl/S.Kurowski/> ściągamy listę linii kalibracyjnych (hgne.dat lub fear.dat w zależności od używanej lampy kalibracyjnej) i zapisujemy ją w folderze z zredukowanymi danymi. Ściągamy również odpowiedni atlas linii dla naszej lampy kalibracyjnej, gdzie są obrazki pomocne przy identyfikacji linii.

Przechodzimy do:

```
noao
onedspec
```

Do identyfikacji linii służy polecenie "identify". W parametrach zadajemy plik wejściowy (plik z widmami kalibracyjnymi o rozszerzeniu .ms.fits) oraz plik z listą linii kalibracyjnych:

```
images=nazwa_pliku_z_widmem_kalibracyjnym
coordli=hgne.dat (lub fear.dat)
```

Po odpaleniu polecenia pojawia się wykres widma kalibracyjnego. Musimy teraz ręcznie zidentyfikować parę linii korzystając z obrazków z widmami lamp kalibracyjnych (uwaga: na początku nasze widmo kalibracyjne może być odwrócone, tzn czerwona część widma po lewej stronie). Linie identyfikujemy klikając "m" w pobliżu środka linii i wpisując długość fali. Wystarczy wpisać wartość z obrazka z wykresem widma, a IRAF automatycznie przypisze tej linii najbliższą dokładną wartość z zadanej listy linii. Staramy się zidentyfikować kilka linii rozłożonych po całym widmie. Po zidentyfikowaniu paru linii klikamy "f" aby znaleźć wstępne rozwiązanie. Pojawia nam się wykres residuów. Możemy wyświetlić komponentę nieliniową zależności px/λ wciskając "l", natomiast wracamy do wykresu residuów wciskając "j". "q" powraca do widoku widma, wyskalowanego już wstępnie w długości fali. Wciskając "l" pozwalamy programowi spróbować automatycznie zidentyfikować pozostałe linie. Robimy nowe dopasowanie "f", przechodzimy do widoku residuów, klawiszem "d" usuwamy punkty, które znacznie odstają od pozostałych (tylko jeżeli to konieczne) i próbujemy robić nowe dopasowania wciskając "f". Możemy również zmieniać stopień dopasowywanej funkcji, ale należy tutaj uważać aby nie przesadzić - przebieg powinien być gładki. Staramy się uzyskać RMS (wyświetlany nad wykresem) około 0.05 lub mniej (dla widma małej rozdzielczości wartość RMS może być większa). W przypadku gdy nic nie wychodzi warto jest usunąć wszystkie zidentyfikowane linie w oknie widoku widma, za pomocą klawiszu "d" i spróbować powtórzyć całą procedurę. Gdy mamy satysfakcjonujące rozwiązanie wychodzimy wciskając "q". IRAF pyta się nas wtedy w konsoli xgterm czy zapisać to rozwiązanie do bazy - potwierdzamy enterem.

Pozostaje jeszcze identyfikacja linii z drugiej kalibracji. Możemy zrobić to analogicznie zmieniając tylko parametr "input" polecenia "identify". Możemy też skorzystać ze znalezionej już rozwiązania dla pierwszej apertury jako pliku referencyjnego i spróbować wykorzystać polecenie "reidentify".

Istotne parametry:

```
reference=nazwa_pliku_z_widmem_kalib_1
images=nazwa_pliku_z_widmem_kalib_2
interac=yes
newaps=no
coordli=hgne.dat (lub fear.dat)
trace=yes
shift=INDEF
search=INDEF
```

Po zatwierdzeniu pliku referencyjnego oraz pliku do identyfikacji pojawi nam się wynik automatycznej identyfikacji linii. Ostatnia wartość to otrzymany RMS rozwiązania - jeżeli jest podobny jak przy poprzedniej identyfikacji i jeżeli udało się zidentyfikować podobną liczbę linii jak w kalibracji referencyjnej, to przy pytaniu o interaktywne dopasowanie możemy wpisać "no".

11 Kalibracja długości fali

Najwyższy czas zastosować zidentyfikowane linie i skalibrować nasze widmo w długości fali. Skorzystamy z widm kalibracyjnych z obu apertur (weźmiemy ich średnią). W folderze z naszymi danymi tworzymy plik testowy np o nazwie cal.lst z nazwami naszych dwóch widm kalibracyjnych: Przyписujemy widma kalibracyjne do naszego pliku z widmem obiektu za pomocą polecenia "refspec". Parametry:

```
input=jednowymiarowe_widmo_obiektu
reference=@cal.lst (lub obie kalibracje wypisane po przecinku, np. cal1,cal2)
select=average
```

Po ustawieniu i zapisaniu parametrów odpalamy polecenie "refspec". Samą kalibrację długości fali wykonujemy poleceniem "dispcor" w parametrach zadając tylko nazwę pliku wejściowego (nasze jednowymiarowe widmo obiektu) i nazwę pliku wyjściowego. Otrzymane widmo możemy podglądać poleceniem "splot".

12 Normalizacja kontinuum*

Ostatnim krokiem będzie normalizacja kontinuum do jedynki lub kalibracja strumienia. Celem normalizacji korzystamy z polecenia "continuum", gdzie zadajemy tylko plik wejściowy i wyjściowy. Pojawia się znane już nam okienko dopasowujące funkcję do przebiegu widma. Po uzyskaniu dobrego dopasowania (pomijającego linie i wpasowującego się tylko w przebieg kontinuum!) wciskamy "q" i uzyskujemy końcowy wynik.

13 Kalibracja strumienia

Do kalibracji strumienia w widmie potrzebujemy krzywej czułości naszego instrumentu oraz krzywej ekstynkcji. Aby uzyskać obie krzywe kalibracyjne potrzebujemy obserwacje dwóch standardów spektrofotometrycznych znacząco różniących się masą atmosferyczną. Widma obu standardów redukujemy w taki sam sposób jak widmo obiektu.

13.1 Uzupełnienie headerów

Następnie musimy uzupełnić header widm obiektu oraz standardów o czas gwiazdowy ST, współrzędne RA DEC, masę atmosferyczną AIRMASS oraz miejsce obserwacji OBSERVAT. Iraf posiada wbudowaną bazę obserwatoriów obsdb.dat, którą można zmodyfikować dodając kilka linijek z danymi OAUJ:

```
observatory = "oauj"
name = "Jagiellonian University Astronomical Observatory"
```

```
longitude = 340:10.59
latitude = 50:03.21
altitude = 313.
timezone = -1
```

Alternatywnie, jeżeli nie mamy dostępu do pliku z bazą obserwatoriów, możemy podać ścieżkę do swojego pliku obsdb.dat za pomocą polecenia:

```
set obsdb=./obsdb.dat
```

Do modyfikacji headera skorzystamy z polecenia "asthedit". Przygotowujemy pliki tekstowe (np. o nazwie airmass.dat) dla każdego ze standardów oraz obiektu, w których zdefiniujemy co ma się znaleźć w kolejnych polach headera:

```
observat = "oauj"
st = mst (@'date-obs', obsdb (observat, "longitude"))
ra = "08:43:13.48"
dec = "+03:23:55.18"
airmass = airmass (ra, dec, st, obsdb (observat, "latitude"))
```

Samo polecenie ma następującą składnię:

```
asthedit widmo.fits airmass.dat
```

13.2 Przygotowanie standardów spektrofotometrycznych*

Kolejny krok to porównanie naszych obserwowanych widm standardów spektrofotometrycznych z widmami katalogowymi w zadanych zakresach (bandpassach). Iraf posiada wbudowaną bazę standardów, którą można podejrzeć poleceniem:

```
page onedstds$README
```

Znajdziemy tam opis poszczególnych standardów, ich lokalizację i nazwę. Można również użyć zewnętrzne pliki, np. pobrane ze strony <https://www.eso.org/sci/observing/tools/standards/spectra/stanlis.html>. Taki plik powinien zawierać trzy kolumny: długość fali, magnitudę i bandpass. Jeżeli korzystamy z zewnętrznych plików, to w katalogu z naszymi danymi tworzymy plik tekstowy "standards.men", w którym wpisujemy nazwy plików tekstowych z katalogowymi danymi dla poszczególnych standardów.

Mając przygotowane dane korzystamy z polecenia "standard", w którym definiujemy bandpassy, w których zliczany będzie strumień w naszych danych obserwowanych oraz w danych katalogowych. Polecenie uruchamiamy dwukrotnie dla obu standardów. W parametrach polecenia edytujemy nazwę pliku fits z widmem standardu, nazwę pliku wyjściowego zostawiamy domyślną (to będzie plik wejściowy dla kolejnego polecenia), podajemy nazwę folderu, w którym znajdują się widma katalogowe standardów (bierzemy je z bazy standardów Irafa dla danego widma katalogowego, lub tak jak w poniższym przykładzie, podajemy ścieżkę do ściągniętych plików) oraz nazwę pliku z widmem katalogowym (ponownie z bazy Irafa lub nazwę ściągniętego pliku dla odpowiedniego standardu, tak jak w liście standards.men, ale bez rozszerzenia).

```
input=widmo_standardu_1.fits
output=std
extinct=
```

```
c aldir=./
star_nam=nazwa_standardu_katalogowego
```

Po uruchomieniu polecenia pojawi się wykres obserwowanego widma z nałożonymi bandpassami, które są brane z widma katalogowego. Za pomocą klawisza "d" usuwamy bandpassy, które wypadają bezpośrednio na lub w pobliżu linii widmowych oraz artefaktów. Polecenie wykonujemy dwukrotnie dla obu standardów, zmieniając tylko input i star_nam (output zostawiamy taki sam). Plik wyjściowy std zawiera długość fali, strumień w widmie katalogowym, szerokość bandpassu oraz sygnał w widmie obserwowanym.

13.3 Uzyskanie krzywej czułości oraz krzywej ekstynkcji*

Kolejne polecenie - sensfunc - pozwoli na dopasowanie krzywej czułości instrumentu. Głównym plikiem wyjściowym jest plik std, który przed chwilą utworzyliśmy.

```
standard=std
sensitiv=sens
extinct=
newexti=extinct.dat
```

Plikami wyjściowymi (używanymi przez kolejne polecenie) będą pliki "sens" (zawierający krzywą czułości) oraz "extinct.dat" zawierający krzywą ekstynkcji. Po uruchomieniu polecenia zobaczymy dwa wykresy - górny przedstawia krzywą czułości, do której staramy się dopasować gładki przebieg zmieniając rząd dopasowania (:o) i ewentualnie dopasowywaną funkcję (:fun). Dolny wykres przedstawia residua dopasowania. Na początku punkty na krzywej czułości dla obu standardów mogą być rozsunięte w pionie. Dzieje się tak ze względu na nieuwzględnioną ekstynkcję. Aby dopasować krzywą ekstynkcji wciskamy klawisz "e". Po uzyskaniu satysfakcjonującego dopasowania wychodzimy wciskając "q", a następnie wpisujemy "yes" potwierdzając zapisanie krzywej ekstynkcji (zostanie utworzony plik extinct.dat). Po tym kroku dopasowujemy przebieg krzywej czułości (wszystkie punkty zostały już poprawione na ekstynkcję i powinny układać się w gładki przebieg). Tutaj po każdej zmianie rzędu funkcji i wciśnięciu klawisza "f" celem wykonania nowego dopasowania warto skorzystać również z klawisza "r" (redraw). Po zakończeniu wciskamy "q", a krzywa czułości zostanie zapisana do pliku tekstowego zaczynającego się od "sens".

13.4 Kalibracja strumienia widma obiektu

Mając krzywą czułości naszego instrumentu oraz krzywą ekstynkcji obserwatorium, możemy dokonać kalibracji strumienia widma obiektu za pomocą polecenia "calibrate".

```
input=widmo_obiektu.fits
output=skalibrowane_widmo_obiektu.fits
extinct=yes
flux=yes
extinct=extinct.dat
sensiti=sens
```

14 Przydatne linki

- Kurs IRAFa:
<http://joshwalawender.github.io/IRAFtutorial/index.html>
- Szczególnie przydatna może być część o wyodrębnianiu widma 1D:
http://joshwalawender.github.io/IRAFtutorial/IRAFintro_06.html#D
- oraz opis identyfikacji linii widma kalibracyjnego:
http://joshwalawender.github.io/IRAFtutorial/IRAFintro_06.html#H