

Методические указания для практикума по исследованию межзвездных линий в пакете MIDAS

Даны наблюдаемый спектр звезды в районе резонансных линий натрия D₁ и D₂, синтетический спектр звезды, спектр теллурических линий. Задачами практикума являются выделение из наблюдений спектра межзвездных линий и оценка характеристик межзвездных облаков.

Для начала работы в пакете MIDAS служит команда:

```
inmidas
```

создаем графический дисплей:

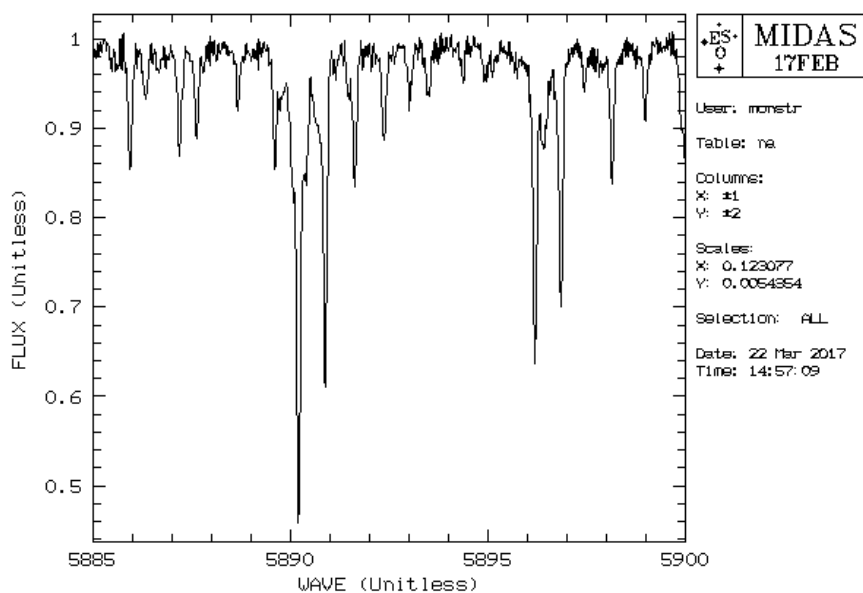
```
cre/gra
```

Преобразования наблюдаемого спектра будем выполнять при помощи таблиц Midas. Создадим таблицу na.tbl, в которую запишем данные файла (две колонки) со спектром звезды:

```
CREATE/TABL na 2 ? hd76060.lam
```

Для ясности присвоим имена колонкам таблицы и выведем на экран и изменим стиль графики:

```
NAME/COLUMN na #1 :WAVE F10.5  
NAME/COLUMN na #2 :FLUX F8.5  
plo/tab na #1 #2  
set/gra LTYPE=1 STYPE=0 XAXIS=5885,5900  
plo/tab na #1 #2
```



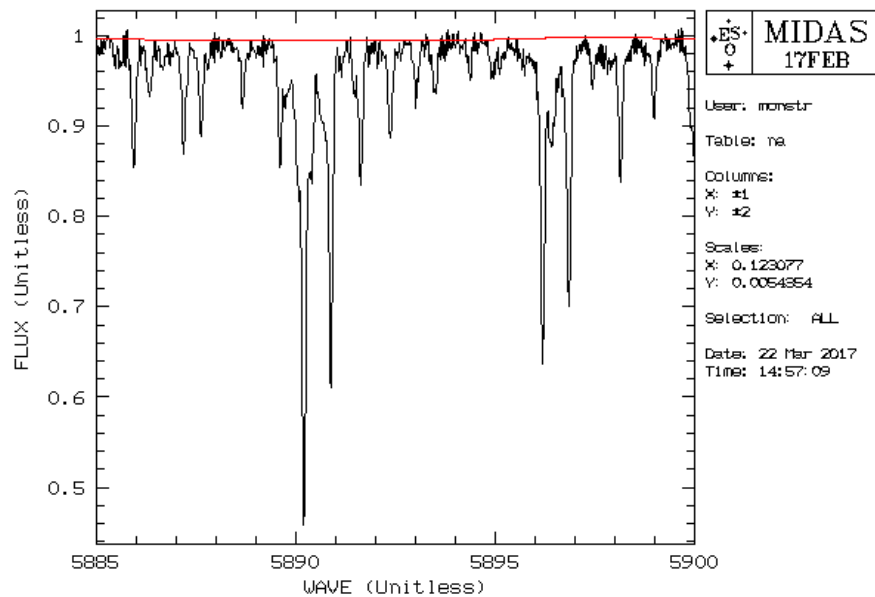
Создадим таблицу с синтетическим спектром звезды, изменим шкалу длин волн в соответствии с лучевой скоростью 36 км/с, выведем на экран:

```
cre/tab na_synt 2 ? na_synt.dat  
COMPUT/TABL na_synt #1 = #1*(1+36/299792)
```

```

set/gra color=red
overplo/tab na_synt #1 #2
set/gra color=black

```

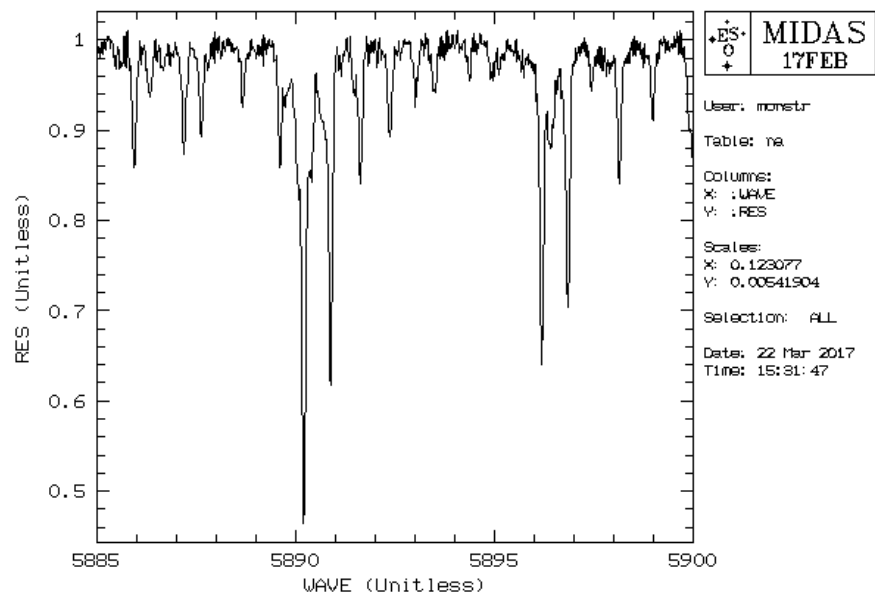


Видим, что в данном случае спектр звезды почти не вносит вклада (эта звезда имеет большую скорость вращения, поэтому линии очень мелкие и растянутые). Для вычитания спектра звезды необходимо выполнить его интерполяцию по длинам волн наблюдаемого спектра. Для этого создаем новую колонку в таблице na.tbl с именем :SYNT, интерполируем, создаем еще одну колонку :RES, куда помещаем вычитенный спектр:

```

CREATE/COLU na :SYNT ? F8.5
INTERPOLATE/TT na :WAVE, :SYNT na_synt #1, #2
CREATE/COLU na :RES ? F8.5
COMPUT/TABL na :RES = 1 - :SYNT + :FLUX
plo/tab na :WAVE :RES

```



То же самое сделаем со спектром земной атмосферы. Создадим таблицу atm.tbl, а в таблицу na.tbl добавим еще одну колонку :ATM, куда проинтерполируем теллурический спектр:

```

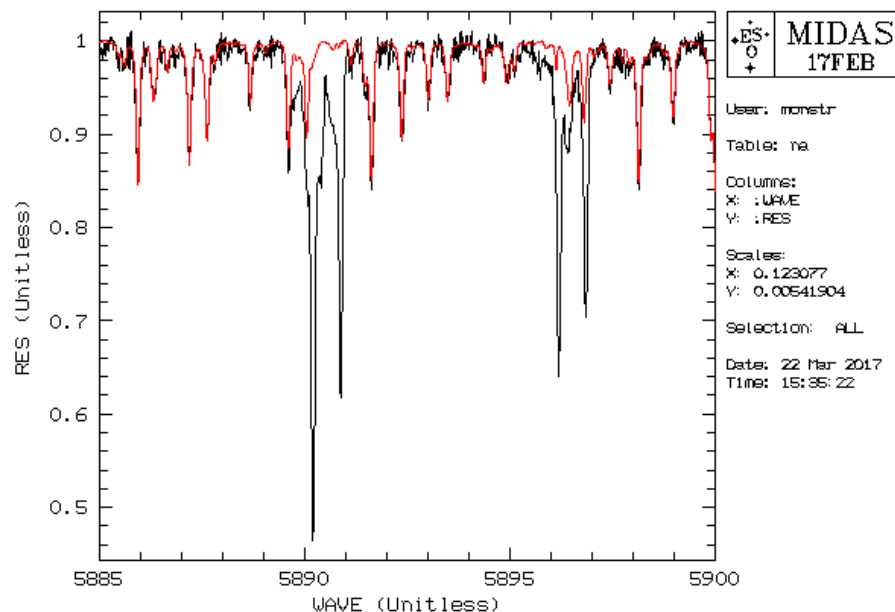
cre/tab atm 2 ? atm.dat
CREATE/COLU na :ATM ? F8.5

```

```

INTERPOLATE/TT na :WAVE,:ATM atm #1,#2
PLO/TABL na :WAVE :RES
set/gra color=red
OVERPL/TABL na :WAVE :ATM
set/gra color=black

```

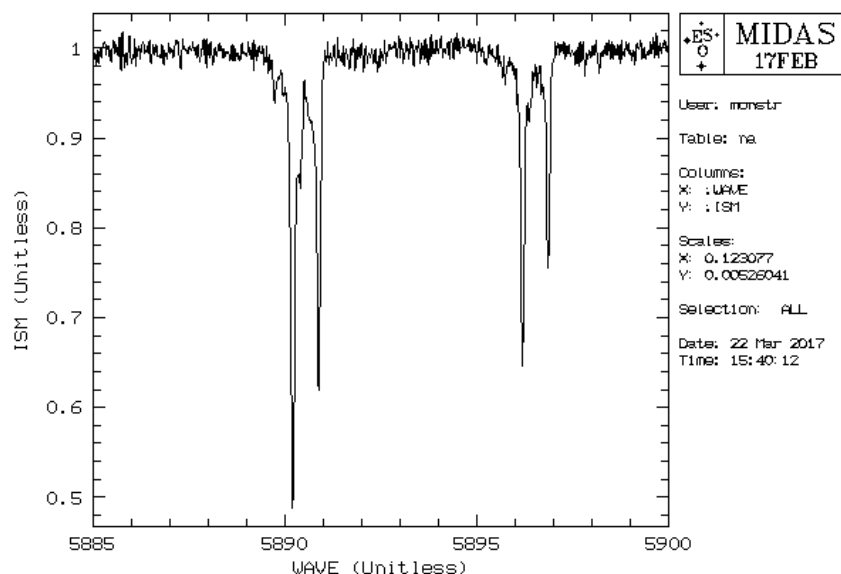


Заметно, что большая часть деталей в наблюдаемом спектре принадлежит молекулярным линиям земной атмосферы. В данном случае вам предоставлен обработанный теллурический спектр и подогнанный по интенсивностям к наблюдаемому. Создаем еще одну колонку :ISM, вычитаем теллурические линии и получаем чистый спектр межзвездного вещества, представленный несколькими компонентами дублета натрия:

```

CREATE/COLU na :ISM ? F8.5
comp/tab na :ISM = :RES/:ATM
PLO/TABL na :WAVE :ISM

```



В дальнейшем будем работать с изображениями. Переведем данные из колонки :ISM таблицы na.tbl в формат *.bdf. Поскольку BDF формат не содержит ось X или ось длин волн, то создадим WCS (world coordinate system) с помощью ключевых слов START и STEP, соответствующих наблюдаемому спектру с начальной длиной волны 5880 Å и шагом 0.01 Å:

```

COPY/TI na na :ISM
write/desc na START 5880
write/desc na STEP 0.01
set/gra XAXIS
plo/row na

```

Переходим к исследованию межзвездных линий. Подключаем контекст (подробная информация о пакете: <http://spectrum.inasan.ru/SAI/links/vol2.pdf>):

```
set/con cloud
```

Настраиваем переменные контекста, в первую очередь массив CLDDIM, содержащий начальную длину волны спектра, шаг по длине волны и количество пикселей:

```
WRITE/KEYW CLDDIM {na,START(1)},{na,STEP(1)},{na,NPIX(1)}
```

Создаем функцию рассеяния точки psf (point spread function) с шириной на полувысоте (FWHM) 0.088 Å, которая соответствует разрешению спектрографа около $R=79000$ ($R=1/(0.849*FWHM)$):

```
CREATE/PSF psf 0.088
```

В рабочей директории практикума есть две дополнительные таблицы, необходимые для исследования характеристик межзвездной среды: absc.tbl и absc.tbl. Первая содержит характеристики межзвездных облаков (:NH плотность атомов на луче зрения по умолчанию $1e11 \text{ cm}^{-2}$, :BVAL турбулентная скорость по умолчанию 3 км/с, :POS наблюдаемая длина волны совпадает с лабораторной шкалой, :VELOCITY лучевая скорость 0 км/с и т. д.) Вторая таблица содержит атомные данные натрия, необходимые для вычисления синтетического профиля межзвездной линии (длины волн дублета, статистические веса, вероятности переходов и силы осциллятора).

Для пробного расчета создадим спектр, аналогичный наблюдаемому, но с единичной интенсивностью, который будет служить континуумом или единичным фоном для линий межзвездного поглощения:

```
copy/ii na cont
comp/ima cont = 1
```

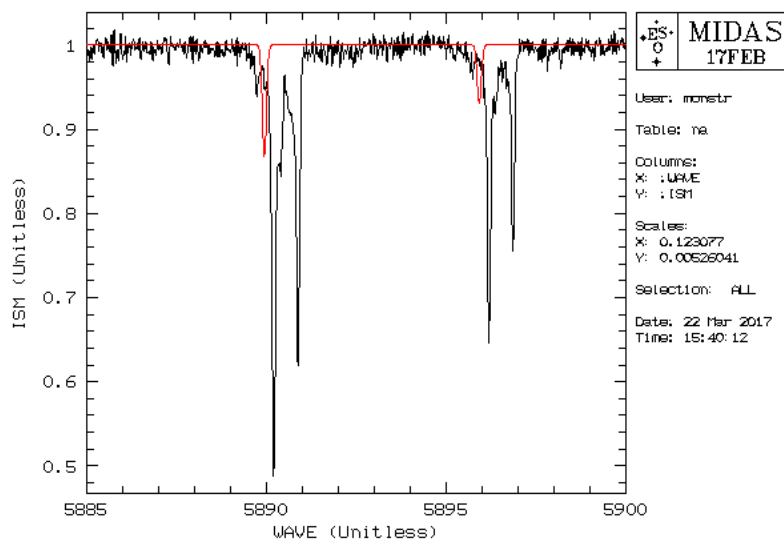
Запускаем команду расчета синтетической межзвездной линии. На выходе получаем два файла syn1 и syn1c. Первый — это сам синтетический спектр, а второй — свертка его с функцией PSF, что позволит нас сравнивать наблюдения с расчетами. Выводим на экран:

```

COMPUT/ABS0 cont syn

set/gra color=red
overplo/row syn1c
set/gra color=black

```



Оценка характеристик состоит в таком подборе величин NH и BVAL и VELOCITY, при которых удовлетворительно описываются оба компонента дублета натрия. Эта процедура состоит в редактировании таблицы absc.tbl, повторных расчетах и сравнительном анализе наблюдаемого и синтетического спектров. Все эти действия представлены в скрипте na.prg, который запускается командой

```
@@ na N b Vrad
```

, аргументы которой есть: N — концентрация атомов в см⁻¹ (например, 1E11 см⁻¹), b — скорость турбулентности в км/с (например, 3 км/с), V_{rad} — лучевая скорость в км/с (например, 0 км/с).

В графический дисплей выводится наблюдаемый спектр в шкале скоростей. Поэтому мы видим два спектра: для красной и синей линии дублета. Жирной линией показан спектр более сильного компонента. Цветом показаны теоретические спектры. Также по сходным деталям можно различить, что на луче зрения расположены два больших облака на скоростях 10-20 км/с и 45-55 км/с. Их характеристики и будем определять. Скрипт выводит центральные глубины компонентов (1 — красный, более сильный, и 2 — синий, более слабый) в наблюдаемом и синтетическом спектрах и их отношения (RATIO). Это позволяет более точно сделать оценку, достигая таких параметров, чтобы RATIO - отношения глубин наблюдаемых и синтетических линий были равны единице для красного и синего компонентов дублета. Кроме того, отношения глубин компонентов (RATIO 1/2) должны быть равными между собой. Следите за значениями и за графиком, анализируйте поведение глубин линий и их отношений от изменении параметров.

```
@@ na 1e11 3 0
```

	OBSERVATIONS	SYNTHETIC	RATIO
CENTER DEPTH 1	5.24683E-01	1.32207E-01	2.51975E-01
CENTER DEPTH 2	3.56036E-01	6.87840E-02	1.93194E-01
RATIO 1/2	1.47368E+00	1.92206E+00	

Изменяем параметры командой и добиваемся наилучшего согласия сначала для одного облака, а затем и для другого.

