

Определение параметров звездных атмосфер по анализу эквивалентных ширин с помощью программы WIDTH

Итак, измерив эквивалентные ширины спектральных линий с помощью программы BinMag, мы получили файл star.ew, формат которого соответствует формату списка линии базы данных VALD. Но для дальнейшего использования нам нужно отредактировать его заголовок и окончание.

Формат файла

Формат файла должен быть следующим:

```
lam1, lam2, N
пусто
пусто
список линий
'путь к файлу с моделью атмосферы',
Nvt vt1, ... vtN,
0
```

В 1-ой строке должны присутствовать начальная длина волны **lam1** исследуемого спектра, конечная длина волны **lam2**, число линий **N** (важно правильное значение, иначе будет ошибка).

Далее идут две произвольные строки, которые можно оставить пустыми.

С 4-ой начинается список линий.

После списка в одинарных кавычках путь к файлу с моделью атмосферы (В VirtualBox они уже есть, а для тех, кто работает без виртуальной машины, файлы скачиваются с сайта: <http://spectrum.inasan.ru/SAI/links/models.tgz> и распаковывается архив в директории с файлом star.abn: `tar xzf models.tgz`)

В следующей строке первым числом отмечается количество значений микротурбулентной скорости, для которых будет проводится расчет, и перечисляются сами значения через запятую, например, «1 1.3,» или «5 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6,».

В последней строке ставим 0.

Итого длина файла будет N+6 строк.

Запускаем пробный расчет командой

```
width star.ew
```

!!! Внимание. Программа width сама не определяет параметры звездной атмосферы. Ее предназначение — определение содержаний химических элементов по эквивалентным ширинам спектральных линий и заданной модели звездной атмосферы.

Если ошибок нет, то получим файл star.abn. Иначе проверяем формат файла.

Файл star.abn содержит отсортированный по элементам список линий, который содержит помимо параметров значения измеренной эквивалентной ширины, вычисленного содержания, отклонение его от среднего и разницу между вычисленной эквивалентной шириной и измеренной. После каждого элемента представлены статистические данные: среднее содержание и среднеквадратичная ошибка, а также наклон зависимости содержаний от эквивалентной ширины, потенциала нижнего уровня, ландэ-фактора и длины волны.

??? Вспомните, какие параметры звездной атмосферы характеризуются нулевым наклоном этих зависимостей?

!!! Внимание. Файл star.ew содержит все ваши измерения, среди которых могут быть ошибки: неверная идентификация линий, неучет блендирования линий, неверно выполненные измерения и т.д. При правильных (или близких) параметрах звездной атмосферы среднеквадратичная ошибка содержаний химических элементов должна быть в пределах 0.10-0.15 dex. Если это не так, что нужно чистить список от плохих линий. Они прежде всего видны по отклонению индивидуального содержания от среднего (предпоследняя колонка). Необходимо удалить все строки, где отклонения по модулю >0.50 dex, а также где EW>150 mÅ.

Vmicro

Оценка параметров звездной атмосферы начинается с микротурбулентной скорости, которая определяется по одному элементу с многочисленными линиями, то есть железу.

Копируем файл star.ew в fe1.dat:

```
cp star.ew fe1.dat
```

И редактируем файл fe1.dat, удаляя все линии, кроме линий железа.

!!! Это можно сделать в текстовом редакторе. Например, joe.

На первой спектральной линии нажать Ctrl-K-B, в конце последней линии или начале следующей Ctrl-K-K — выделили блок текста. Затем Ctrl-K-/ выполним в блоке команду: `grep «Fe 1»`

Или в командной строке выполнить

```
grep «Fe 1» star.ew > fe1.dat
```

Поправляем в первой строке количество линий N.

Выбираем из сетки модель с параметрами, ближайшими к ранее определенными по фотометрии ($T=4950\text{K}$ $\log g=2.8$), и путь к соответствующему файлу записываем после списка линий:

```
'models/castelli_ap00k2_T05000G30.krz',
```

В следующей строке нужно записать несколько значений микротурбулентной скорости, для которых будет выполнен расчет, например:

```
7 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6,
```

Запускаем:

```
width fe1.dat
```

Микротурбулентная скорость V_t должна быть выбрана так, чтобы отсутствовала зависимость содержания от эквивалентной ширины линии, то есть $\text{Slope}=0$. Для этого строим график $\text{Slope}(V_t)$ и находим V_t , при котором $\text{Slope}(V_t)=0$. Значения V_t и Slope берем из файла fe1.abn. Или командой.

```
grep -P "Micro|width" fe1.abn | sed "s/= / /" | awk '{if(/Micro/){v=$3} if(/width/){print v,$2,$4}}'
```

Видно, что Slope меняет знак, то есть пересекает 0. В этом же интервале значение ошибки (Зая колонка) минимально. Клавиша «стрелка вверх» возвращает предыдущую команду, закончите ее `> vt.dat`, чтобы записать результат в файл.

```
grep -P "Micro|width" fe1.abn | sed "s/= / /" | awk '{if(/Micro/){v=$3} if(/width/){print v,$2,$4}}' > vt.dat
```

Запускаем программу визуализации и анализа данных:

```
xmgrace vt.dat
```

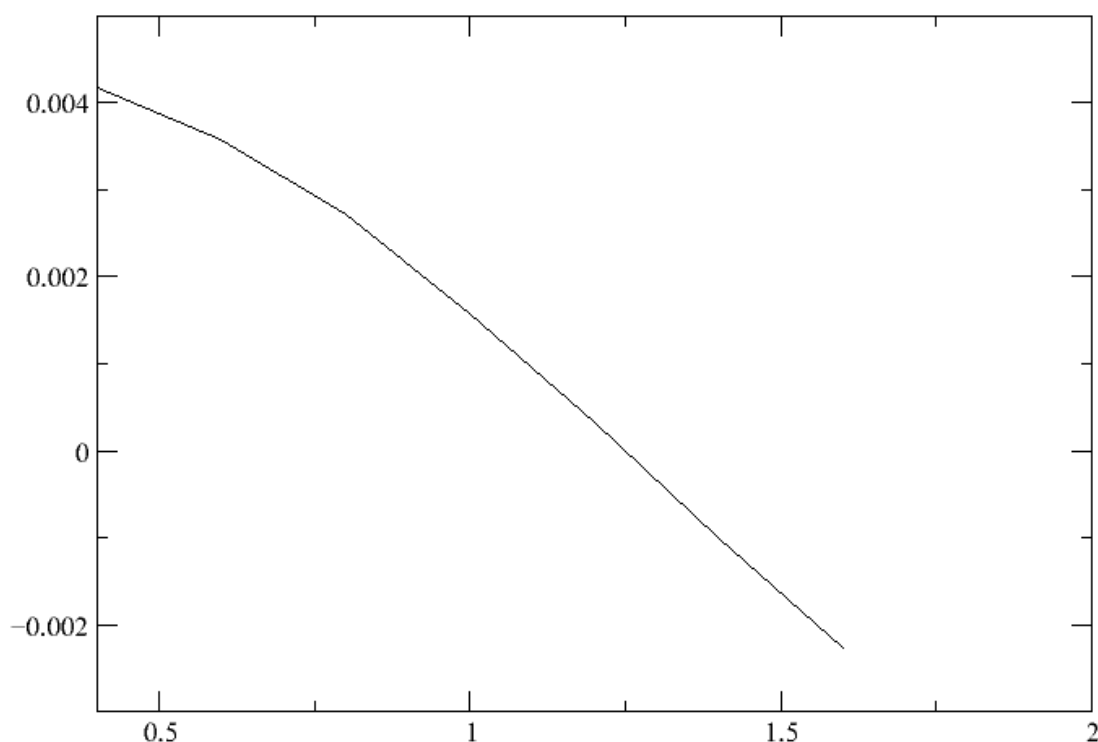


Рисунок 1: Изменение наклона зависимости «Содержание-EW» от микротурбулентной скорости

Находим V_t как пересечение графика с 0 с точностью до второго знака после запятой. Далее используем это значение.

Снова чистим список линий. При правильных (или близких) параметрах звездной атмосферы среднеквадратичная ошибка содержаний химических элементов должна быть в пределах 0.10-0.15 dex. Если это не так, что нужно чистить список от плохих линий. Они прежде всего видны по отклонению индивидуального содержания от среднего (предпоследняя колонка). Необходимо удалить все строки, где отклонения по модулю >0.30 dex.

T_{eff}

Для оценки температуры используем сетку моделей из директории models/.

Поскольку расчеты в сетке трудоемки, будем пользоваться скриптом **exe** для автоматического параллельного расчета. Для этого создадим временный файл temp.dat

```
cp fe1.dat temp.dat
```

отредактируем temp.dat, подставив вместо имени файла с моделью атмосферы переменную **\$model**

И запускаем:

```
sh exe
```

После окончания расчетов у нас образуется множество файлов calc_*.dat и calc_*.abn, соответствующих моделям атмосферы с $T=4000..5500\text{K}$ и $\log g=2.0..3.5$. Содержание железа не должно зависеть от энергии потенциала нижнего уровня. При этом содержание, определенное по Fe1 слабо зависит от $\log g$. Поэтому посмотрим как ведет себя наклон от T_{eff} при некотором фиксированном значении $\log g=3.0$, выделяем все строки, где описано значение наклона, подстрока „pot“:

```
grep pot calc_*30.abn
```

```
grep pot calc_*30.abn | sed -e "s/calc_//" -e "s/-30.abn:/" -e  
"s/Slope=/" | awk '{print $1,$2,$4}'
```

Стрелкой вверх возвращаем последнюю команду и добавляем в конец **>T.dat**
Выводим на экран

```
xmgrace T.dat
```

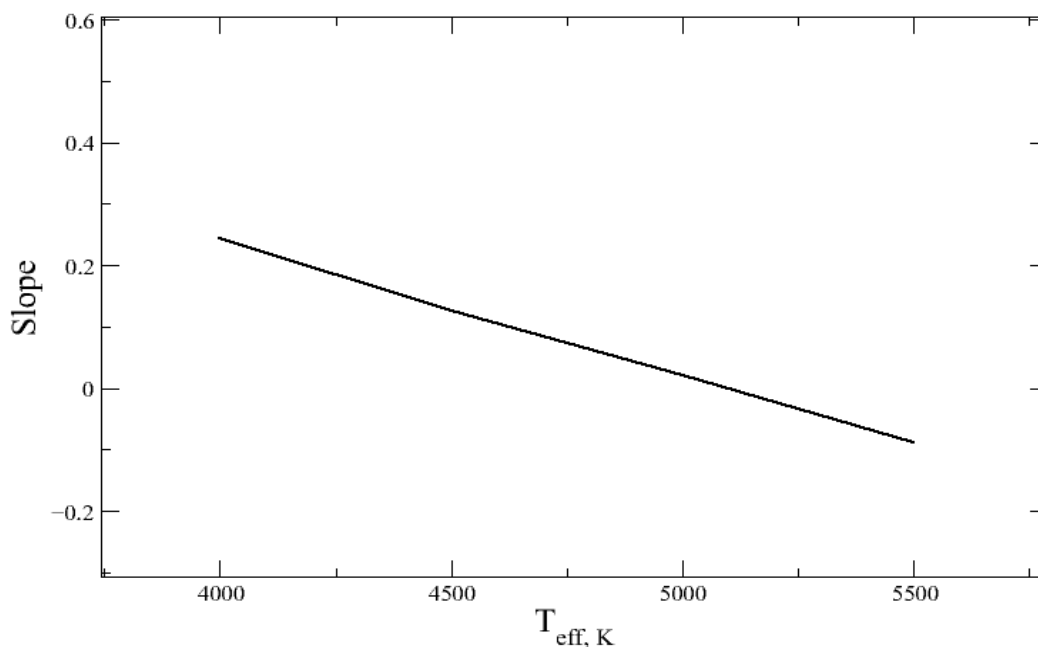


Рисунок 2: Изменение наклона зависимости "Содержание-Elow" от эффективной температуры

Находим значение температуры, где $\text{Slope}=0$. При этом же значении должна быть минимальной ошибка Slope.

log g

Для определенного выше значения температуры анализируем поведение содержаний Fe1 и Fe2.

```
grep "Fe 2" star.ew > fe2.dat
```

Копируем файл fe1.dat в fe.dat, где будут все линии железа Fe1 и Fe2

```
cp fe1.dat fe.dat
```

и добавляем к списку линий fe.dat с помощью текстового редактора.

Это же (соединить списки линий Fe1 и Fe2) можно сделать командой:

```
awk '{if(/model/){system("cat fe2.dat"); print}else{print}}' fe1.dat > fe.dat
```

Поправляем в первой строке файла fe.dat количество линий N. И снова подготовимся к параллельным вычислениям:

```
cp fe.dat temp.dat
```

отредактируем temp.dat, подставив вместо имени файла с моделью атмосферы переменную **\$model**

И запускаем:

```
sh exe
```

Посмотрим как ведут себя содержания железа:

```
grep "The abund" calc_5000*.abn
```

Нечетные строки соответствуют Fe1, четные — Fe2.

Рассмотрим разницу Fe1/H — Fe2/H для разных значений lg g:

```
grep "The abund" calc_5000*.abn | sed -e "s/calc_5000-//" -e "s/.abn://" | awk '{if(NR%2==1){fe1=$8}else{fe2=$8; print $1,fe1-fe2}}'
```

и отыщем приближенное значение logg, при котором содержания будут равны с помощью xmgrace.

Стрелкой вверх возвращаем последнюю команду и добавляем >g.dat

```
xmgrace g.dat
```

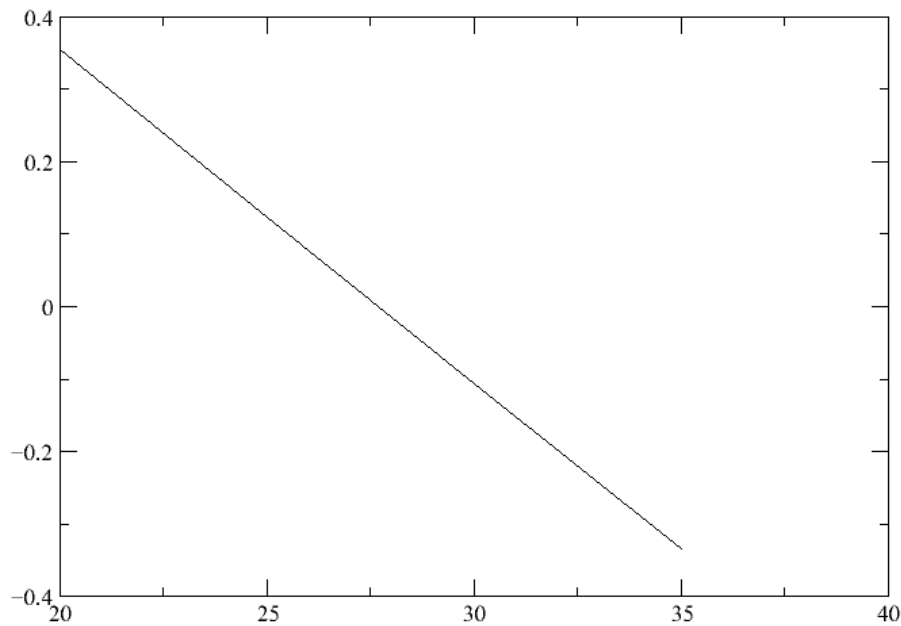


Рисунок 3: Зависимость разницы содержаний железа Fe1-Fe2 от ускорения силы тяжести(*10)

Металличность [Fe/H]

Оцениваем по содержанию железа в файле fe.abn для параметров атмосферы T, lgg и Vt, наиболее близких к найденным значениям.

$[Fe/H] = \log (Fe/H) - \log (Fe/H)_{SUN}$, где $\log (Fe/H)_{SUN} = -4.54$

Модель атмосферы

Итак, у нас есть все необходимые параметры звездной атмосферы, то рассчитаем ее модель командой (расчет проводится методом интерполяции готовой сетки моделей)

```
inter_castelli.pl Teff logg [Fe/H] > model.krz
```

Если [Fe/H] не сильно отличается от 0.00, то можно принять [Fe/H]=0, это не повлияет на распределение температуры и давления в атмосфере. В результате получаем файл модели атмосферы model.krz. Именно эта модель атмосферы должна использоваться в дальнейших расчетах.

Содержание химических элементов

Копируем
cp star.ew elem.dat

Помещаем в файл elem.dat имя модели звездной атмосферы, значение микротурбулентции.

Заменяем всё железо данными из файла fe.dat. Проверяем количество линий N и редактируем вверху файла.

width elem.dat

Проверяем и чистим списки отдельных элементов по тем же критериям, как и для железа.

И окончательно считаем:

width elem.dat

Представьте результаты на основе данных файла содержаний elem.abn в таблице вида:

Элемент X	X/H	[X/H]
Na 1	-5.70 +/- 0.12	+0.10 +/- 0.12

Где $X/H = \log_{10}(N_X) - \log_{10}(N_H)$ — значение содержания из файла elem.abn

$[X/H] = (X/H)_{\text{star}} - (X/H)_{\text{SUN}}$ — содержания относительно солнечных значений

Значения $(X/H)_{\text{SUN}}$ приведены ниже:

H : 0.921	He: -1.11				
Li: -10.99	Be: -10.66	B : -9.34	C : -3.61	N : -4.21	O : -3.35
F : -7.48	Ne: -4.11	Na: -5.80	Mg: -4.44	Al: -5.59	Si: -4.53
P : -6.63	S : -4.92	Cl: -6.54	Ar: -5.64	K : -7.01	Ca: -5.70
Sc: -8.89	Ti: -7.09	V : -8.11	Cr: -6.40	Mn: -6.61	Fe: -4.54
Co: -7.05	Ni: -5.82	Cu: -7.85	Zn: -7.48	Ga: -9.00	Ge: -8.39
As: -9.74	Se: -8.70	Br: -9.50	Kr: -8.79	Rb: -9.52	Sr: -9.17
Y : -9.83	Zr: -9.46	Nb: -10.58	Mo: -10.16	Tc: -20.00	Ru: -10.29
Rh: -11.13	Pd: -10.47	Ag: -11.10	Cd: -10.33	In: -11.24	Sn: -10.00
Sb: -11.03	Te: -9.86	I : -10.49	Rn: -9.80	Cs: -10.96	Ba: -9.86
La: -10.94	Ce: -10.46	Pr: -11.32	Nd: -10.62	Pm: -20.00	Sm: -11.08
Eu: -11.52	Gd: -10.97	Tb: -11.74	Dy: -10.94	Ho: -11.56	Er: -11.12

Нарисуйте график содержаний $[X/H]$ от элемента в виде, где содержания атомов разных стадий ионизации отражены разными значками

