

Программный комплекс SunWorld.

Можаровский С.Г.

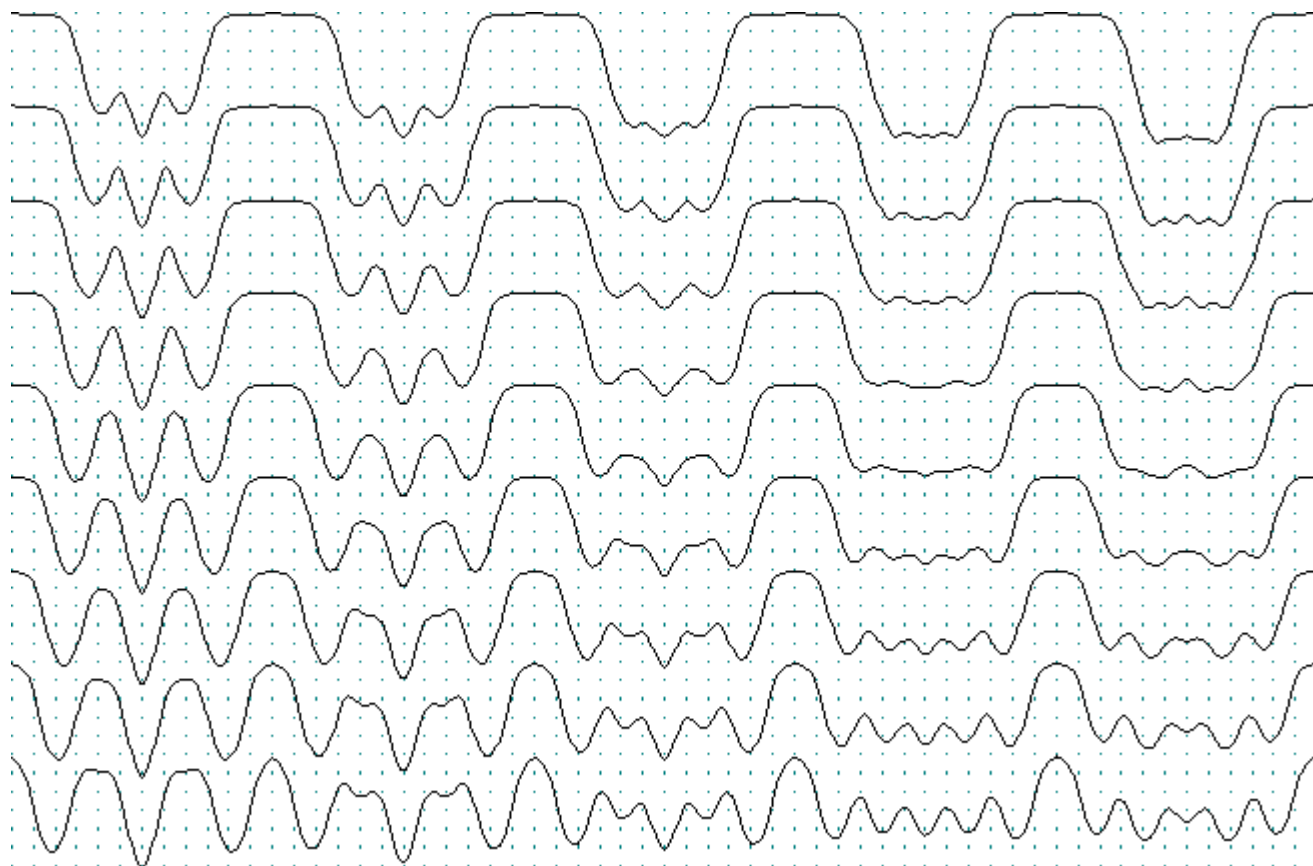
Уссурийская Астрофизическая обсерватория ДВО РАН,

Уссурийск, Россия, sw@newmail.ru

В Уссурийской Астрофизической обсерватории разработан и успешно действует многофункциональный программный комплекс SunWorld. Он предназначен для анализа и моделирования солнечной фотосферы в процессе переноса поляризованного излучения в спектральных линиях.

Главный вычислительный блок SunWorld позволяет интегрировать профили магнитоактивных линий для произвольных, таблично заданных моделей фотосферы. Наиболее близкие аналоги этого блока – программы MALIP Landi Degl’Innocenti [1976] и SPANSAT Гадуна и Шеминовой [1988]. Программа включает в себя много сервисных функций, начиная от перерасчета газового и электронного давлений по заданному распределению температуры и кончая встроенной графикой и текстовым редактором с возможностями гипертекста и операций с таблицами.

Основной режим расчета профилей Стокса – расчет по матрице входных параметров:



Такую картинку SunWorld выдает в ответ на следующее пакетное задание:

```
#MOD T SW =#
#LIN V6058 #
#GM 15 30 45 60 75 #
#H 1400 1600 1800 2000 2200 2400 2600 2800 3000 #
#RUN CONT #
```

Подобный расчет мы проводили, когда подбирали профиль интенсивности линии V I λ 6058 А, которую мы наблюдали в спектре тени пятна. Менять можно не только напряженность поля и угол вектора поля к лучу зрения, но и любые другие параметры. Например, можно делать расчет для ряда линий или для нескольких разных моделей фотосферы. Можно варьировать среднюю температуру модели, силы осцилляторов линий, множитель к параметру затухания и т.д. Вместо постоянных по глубине значений напряженности поля, микротурбулентной и лучевой скорости можно задавать их градиенты или даже произвольные таблицы.

Вывод графиков для матричного расчета.

Расчет по матрице входных параметров допускает произвольное количество параметров, которые будут меняться. Но их нужно удобно расположить на графике, для этого служит специальная интерфейсная страница. Она позволяет выбрать вдоль какой оси какой параметр будет следовать. Осей есть всего три -X, Y и T (временная последовательность). Анимированную последовательность можно наблюдать прямо в программе, а можно вывести в анимированный GIF-файл. Пример такой анимации можно найти в конце страницы скриншотов SunWorld <http://sw.newmail.ru/sw90/shots/shots.html>

Таблица интегральных параметров профилей

Когда матрица профилей посчитана, можно открыть страницу, которая показывает интегральные параметры профилей. Можно включать и выключать вывод самых разнообразных параметров. Это могут быть эквивалентные ширины профилей Стокса, глубины на заданном расстоянии от центра, рассчитанный сигнал магнитографа и т.д. :

KV	sVari	d0	wl	wV	wC
7	#GM=15 #H=2600	31.20390	65.79019	45.07481	4
8	#GM=15 #H=2800	30.95414	65.88046	45.55637	4
9	#GM=15 #H=3000	30.69722	65.85857	45.93133	4
10	#GM=30 #H=1400	33.12655	64.37622	34.61673	5
11	#GM=30 #H=1600	32.06102	66.11170	36.33332	6
12	#GM=30 #H=1800	31.24215	67.45247	37.71725	6

Когда параметры (колонки) заданы, сводную таблицу можно передать на страницу текстового редактора:

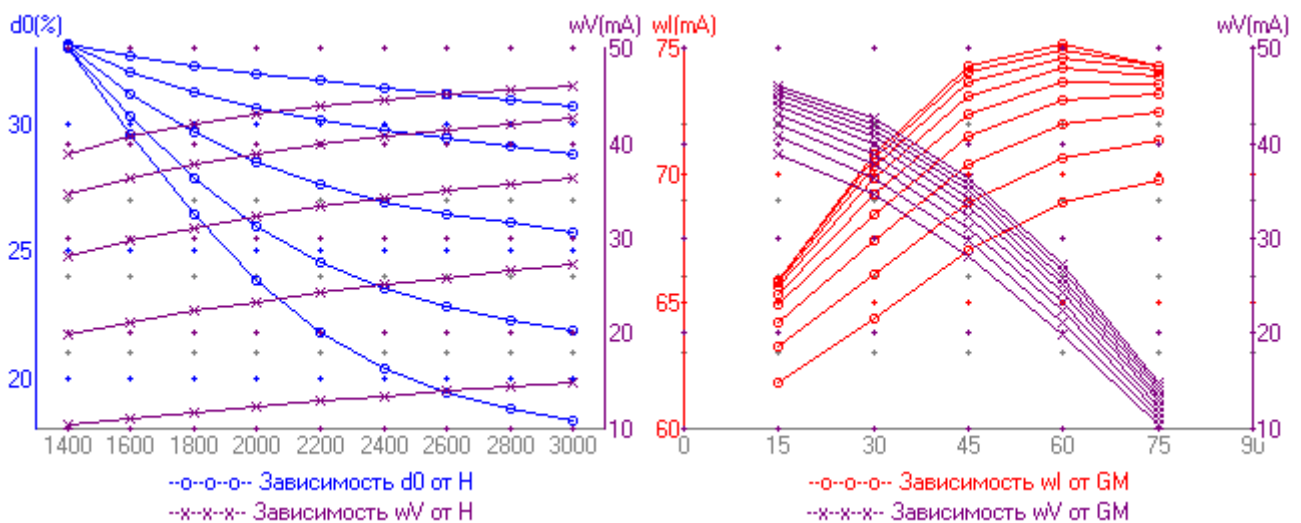
KV	GM	H	d0	wI	wV
7	#GM=15	#H=2600	31.20390	65.79019	45.07481
8	#GM=15	#H=2800	30.95414	65.88046	45.55637
9	#GM=15	#H=3000	30.69722	65.85857	45.93133
10	#GM=30	#H=1400	33.12655	64.37622	34.61673
11	#GM=30	#H=1600	32.06102	66.11170	36.33332

а у встроенного текстового редактора есть средства, чтобы автоматически выровнять столбцы:

KV	GM	H	d0	wI	wV
7	#GM=15	#H=2600	31.20390	65.79019	45.07481
8	#GM=15	#H=2800	30.95414	65.88046	45.55637
9	#GM=15	#H=3000	30.69722	65.85857	45.93133
10	#GM=30	#H=1400	33.12655	64.37622	34.61673
11	#GM=30	#H=1600	32.06102	66.11170	36.33332
12	#GM=30	#H=1800	31.24215	67.45247	37.71735

Столбцы можно также поменять местами, удалить ненужные, отсортировать всю таблицу по выбранному столбцу. Если столбец содержит только цифры, то сортировка делается по значению, в противном случае – по алфавиту.

Далее таблицу можно экспортировать в Excel или MatLab, а можно построить графики интересующих нас зависимостей встроенной подсистемой графики:



Расчет для участка длин волн.

Обычно нас интересуют отдельные конкретные линии. Но иногда нужно сопоставлять расчет со спектром, включающим ряд бленд. На этот случай программа умеет считать профили для диапазона спектра. Например, если в задании на расчет вместо обычного задания имени линии:

```
#LIN      CA6102  #
```

включить задание нижней и верхней границ диапазона длин волн:

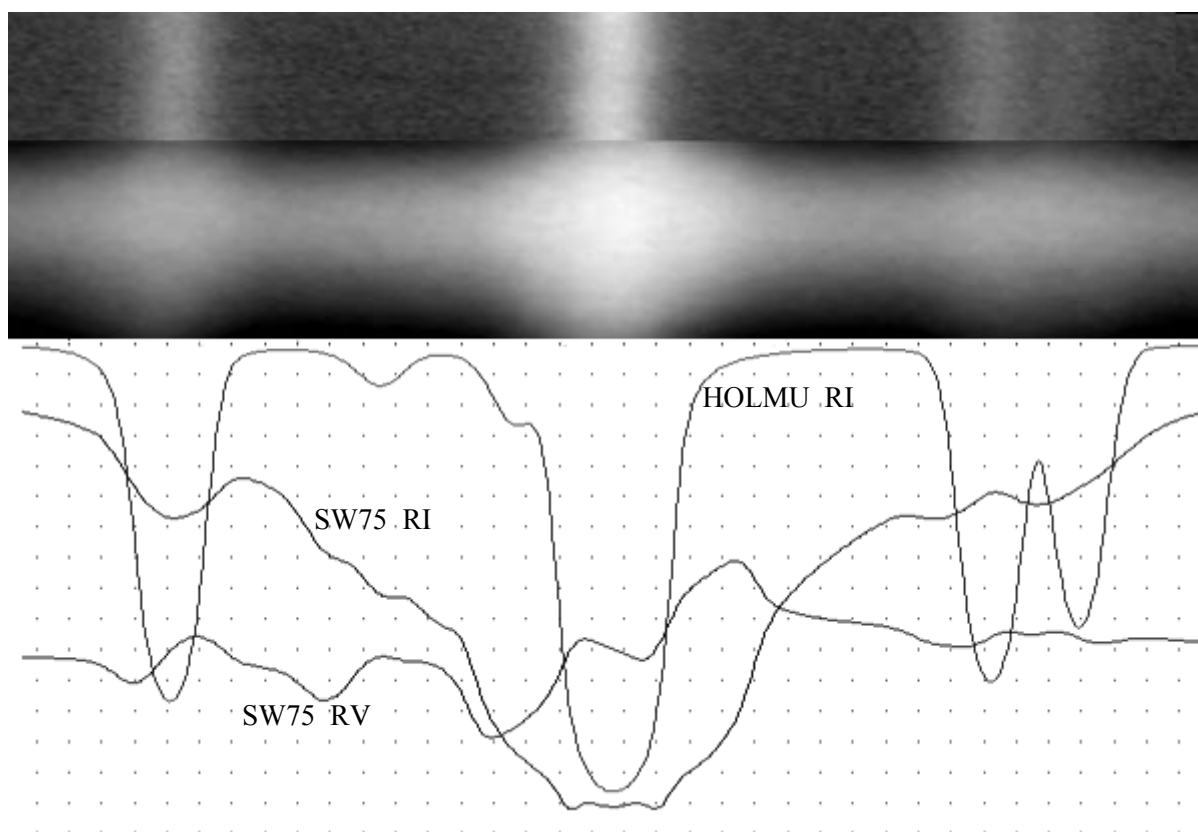
```
#LAM_L    6102.000 #
```

```
#LAM_U    6103.440 #
```

то программа автоматически включит в расчет все линии из базы данных:

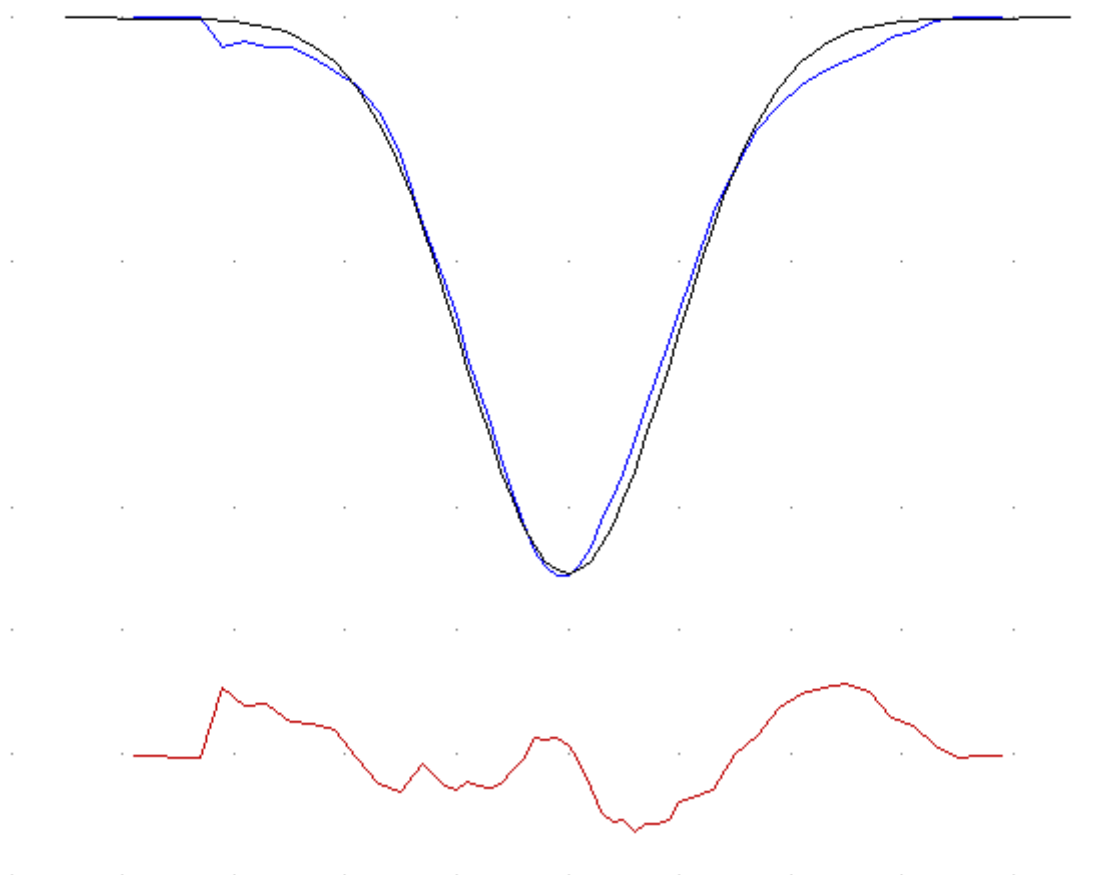
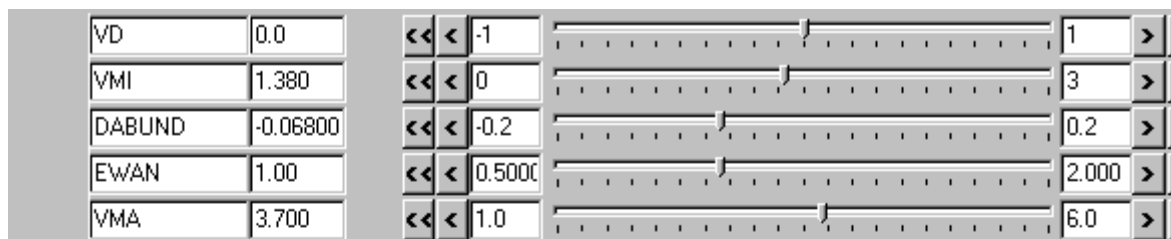
El-t	LAMB	E_low	lg(gf)	J_l	J_u	g_l	g_u
SI I	6102.136	5.984	-2.120	3	3	0.000	0.000
FE I	6102.180	4.830	-0.657	0	1	0.493	0.676
CR II	6102.262	6.285	-2.877	5/2	3/2	0.857	0.819
FE I	6102.268	5.348	-3.962	3	3	0.905	1.644
SI I	6102.408	5.984	-2.800	3	2	0.000	0.000
CA I	6102.439	2.523	-2.805	2	1	1.162	1.010
TI II	6102.542	8.116	0.178	7/2	9/2	1.294	1.007
FE I	6102.599	4.584	-2.249	3	3	1.083	1.109
V I	6102.706	3.245	-0.751	9/2	9/2	1.230	1.610
RH I	6102.706	1.578	-1.170	9/2	11/2	0.000	0.000
CA I	6102.723	1.879	-0.890	0	1	0.000	2.002
TI I	6102.808	1.873	-2.317	3	4	0.740	1.050
CR I	6102.914	4.416	-3.006	1	0	1.501	0.000
FE I	6103.185	4.835	-0.764	1	1	0.493	1.459
FE I	6103.293	4.733	-1.117	3	4	1.324	0.871
SM I	6103.395	1.624	-0.216	6	5	0.000	0.000

На рисунке ниже приведены результаты расчета участка спектра в диапазоне $\lambda\lambda$ 6102-6103.44 Å для моделей тени (Stellmacher-Wiehr 1975) профили RI,RV и невозмущенной фотосферы (Holweger-Muller 1974) профиль RI



Подбор параметров расчета в диалоге.

Матричный расчет хорош своей обзорностью и тем, что можно детально сравнивать между собой все профили расчета. Иногда стоит задача только лишь подобрать параметры и сделать это для массы однотипных случаев. Тогда подбирать параметры лучше в диалоге:

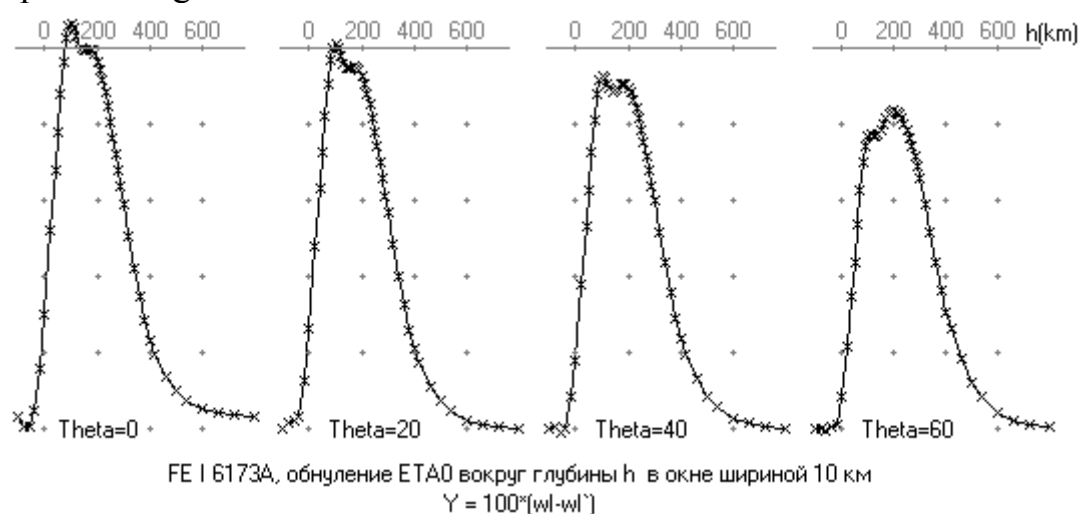


На данной иллюстрации приведен профиль линии Fe I λ 5757.26 Å мультиплета 1184 из книги Гуртовенко Э.А. и др. [1975] "Профили избранных фраунгоферовых линий для разных положений центр-край на диске Солнца". На ползунки регуляторов выведены параметры расчета для модели Holweger-Muller [1974] (HOLMU) и алгоритма Рунге_Кутты (см. Кац И.М.[1973]), которые позволяют наилучшим образом совместить расчетный профиль с наблюдаемым. Вверху отображены наблюдаемый и расчетный профили, внизу – их разность.

Расчет глубин образования линий.

Для вычисления глубины образования линии в SunWorld используется оригинальный метод "пробного слоя". Для заданной линии и заданных параметров фотосферы проводится расчет. Затем в модели фотосферы в узком слое изменяется один из параметров и профиль пересчитывается заново. Разница исходного и измененного профилей в зависимости от глубины пробного слоя показывает нам в общем случае функцию отклика. Если в пробном слое обнулять поглощение в линии, т.е. приравнять нулю η_0 , то вычитая из измененного профиля исходный, мы в точности до знака получим функцию вклада (Contribution Function, CF). И уже из CF, приравнивая верхнюю и нижнюю половины площади под кривой CF, находим глубину образования линии. Ширину пробного слоя можно выбирать постоянной в шкале $\lg(\tau)$ или в шкале глубин в километрах. Сравнение исходного и модифицированного профиля можно делать по любой точке профиля или по любому из его интегральных параметров, в первую очередь по эквивалентной ширине

На рисунке приведены функции вклада CF, полученные для пробного слоя в шкале километров, в котором обнулялась величина η_0 и сравнивались эквивалентные ширины W рассчитанных профилей. Линия Fe I $\lambda 6173 \text{ \AA}$, модель фотосферы Holweger-Muller 1974.



Работа с моделями фотосферы.

Для расчета профилей Стокса необходимо предварительно задать модель фотосферы. Минимально необходимые параметры – это температура и газовое и электронное давления. В программу SunWorld можно вводить модели практически в том самом виде, как их опубликовали авторы - копию коллекции рабочих моделей SunWorld можно увидеть на странице <http://sw.newmail.ru/sw90/mods/mods.html>. Необходимые преобразования величин и интерполяция на рабочую сетку $\lg(\tau)$ будут выполнены автоматически.

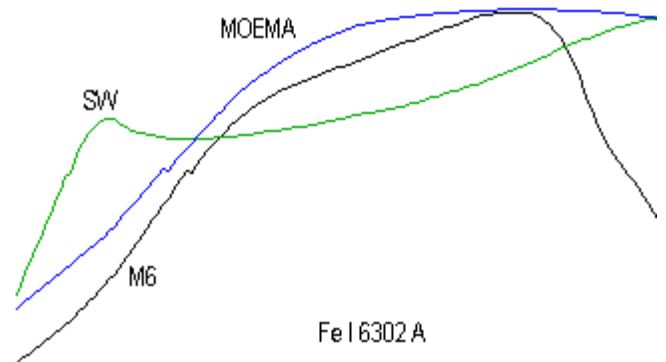
Если для модели задан только ход температуры, то газовое и электронное давление будут вычислены по формулам гидростатического и ионизационного равновесий.

Для процесса интегрирования излучения в линиях помимо температуры и давлений требуется множество других величин. Каждая такая величина с её заданным распределением по $\lg(\tau)$ - это вектор модели фотосферы. В SunWorld есть интерфейс для графического просмотра и сравнения таких векторов, а также для выбора интересующих нас векторов и вывода их в таблицу. Причем в таблице шаг по $\lg(\tau)$ может быть задан равным оригинальному шагу из любой модели.

На рисунке представлен ход отношения коэффициентов селективного и непрерывного поглощения η_0 для линии Fe I λ 6302 А для моделей:

- M6 - фотосферы Maltby et al 1986
- MOEMA - полутени Moe, Maltby 1969
- SW - тени Stellmacher, Wiehr 1975

Как следует из рисунка, линия Fe I λ 6302 А наиболее интенсивной должна быть в полутени, и это подтверждается наблюдениями.



База данных.

В SunWorld есть база данных. Наиболее полезная таблица в базе данных - это таблица спектральных линий. Она позволяет задавать разные критерии отбора и в диалоге подбирать линии для той или иной физической задачи.

LAMB	Ato	Nlc	Mult	ELDV	LGGF	Wcd	Dcd	JL2	JU2	GL	GU	G G	WHM	DHM	WSW	DSW	Rad	Stark	Waals
4508.28	FE	2	38	2.85	-2.64	88.5	0.808	0	2	0.398	-0.021	L L	104.6	87.37	18.83	27.09	8.62	-6.67	-7.95
4491.4	FE	2	37	2.85	-2.99	74.7	0.749	0	2	0.398	0.445	L L	79.51	83.82	9.95	16.39	8.48	-6.6	-7.95
5234.62	FE	2	49	3.22	-2.38	88.5	0.722	7	5	0.98	1.069	L L	104.46	80.85	9	12.7	8.49	-6.6	-7.95
5197.57	FE	2	49	3.23	-2.44	85	0.715	0	2	0.574	0.445	L L	101.01	80.63	8.36	12	8.48	-6.6	-7.95
4576.34	FE	2	38	2.84	-3.145	68.6	0.693	0	2	1.019	1.35	L L	66.93	79.1	5.72	9.96	8.61	-6.67	-7.95
4582.83	FE	2	37	2.84	-3.395	55.2	0.631	0	2	1.019	1.29	L L	64.21	78.13	5.16	9.09	8.49	-6.6	-7.95
4620.51	FE	2	38	2.83	-3.5	53.3	0.587	0	2	1.21	1.4	L L	57.7	74.71	3.78	6.8	8.61	-6.67	-7.95
5325.55	FE	2	49	3.22	-3.37	45.4	0.45	0	2	0.98	1.29	L L	78.15	74.32	3.6	5.54	8.49	-6.6	-7.95

В этом примере выборка содержит линии ионизованного железа Fe II, для которых эквивалентная ширина в тени пятна (столбец WSW) превышает 3 мА.

Автоматизированные процедуры позволяют дополнять базу данных из разных источников. В настоящее время по мере необходимости таблица линий дополняется данными из достаточно полных таблиц Kurucz. Слабые линии, для которых расчет дает нулевую эквивалентную ширину для модели фотосферы и для модели тени пятна исключаются из рабочей таблицы.

Подсистема управления проектами.

В SunWorld могут выполняться десятки самых разнообразных проектов. Для этой цели создана система управления проектами. Данные разных проектов абсолютно независимы, их можно архивировать или удалять с компьютера без ущерба для других проектов.

В рамках одного проекта может быть несколько разных расчетов ("квестов") – и однотипных и разнотипных. В каждом квесте при необходимости могут быть рассчитаны сотни профилей, соответствующих матрице входных параметров. Профили этих разных квестов можно сравнивать, они активны в SunWorld одновременно.

Все файлы данных в проектах SunWorld (кроме готовых графиков) – это текстовые файлы.

Данные одного проекта подразделяются на классы:

- входные данные расчета,
- файлы, которые содержат результаты расчета – профили Стокса,
- файлы, которые описывают графики и готовые файлы с графиками

Литература

Гадун А.С. Шеминова В.А. SPANSAT: Программа вычисления спектральных линий поглощения в звездных атмосферах в приближении ЛТР. Препр. ИТФ АН УССР. 1988 ИТФ-88-87Р 37 с. 1085.

Landi Degl'Innocenti, E. MALIP - a programme to calculate the Stokes parameters profiles of magnetoactive Fraunhofer lines // 1976, Astron. Astrophys. Suppl v. 25, p 379-390.

Гуртовенко Э.А., Костык Р.И., Орлова Т.В., Троян В.И., Федорченко Г.Л. "Профили избранных фраунгоферовых линий для разных положений центр-край на диске Солнца" Киев, изд. Наукова думка, 1975, 222 с.

Holweger H. and Muller E. A. THE PHOTOSPHERIC BARIUM SPECTRUM SOLAR ABUNDANCE AND COLLISION BROADENING OF Ball LINES BY HYDROGEN // Sol Phys. 39, 19 (1974).

Кац, И.М. Методика численного интегрирования уравнений переноса для магнитоактивных линий нерассеивающих сред // Исслед. по геомаг. аэронауке и физике Солнца. 1973(6). Вып. 28, С. 67-76.

Stellmacher G., Wiehr E. The Deep Layers of Sunspot Umbrae // Astron. & Astrophys. 45, 69-76 (1975)

Maltby P., Avrett E.H., Carlsson M., Kjeldseth-Moe O., Kurucz R.L., Loeser R. A NEW SUNSPOT UMBRAL MODEL AND ITS VARIATION WITH THE SOLAR CYCLE // The Astrophysical Journal, 306:284-303, 1986

Kjeldseth-Moe O., Maltby P. A MODEL FOR THE PENUMBRA OF SUNSPOTS // Solar Physics 8 (1969) 275-283

Kurucz, Robert L. <http://kurucz.harvard.edu/LINELISTS/GFHYPHER100/>