

# **РАСЧЕТ ПРОФИЛЕЙ СТОКСА ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ТЕНИ И ФОТОСФЕРЫ СОЛНЦА - СТРУКТУРЫ ДАННЫХ И ВИДЫ РАСЧЕТОВ ПРОГРАММЫ SUNWORLD**

**С.Г.Можаровский**

Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН, Уссурийск, Россия  
[sw@newmail.ru](mailto:sw@newmail.ru)

## **STOKES PROFILES CALCULATIONS FOR SOLAR UMBRA AND PHOTOSPHERE MODELS – DATA STRUCTURES AND TYPES OF CALCULATIONS OF PROGRAM "SUNWORLD"**

**S.G.Mozharovsky**

Ussuriysk Astrophysical Observatory of FEB RAS, Ussuriysk, Russia  
[sw@newmail.ru](mailto:sw@newmail.ru)

*For many years we design and use a software package SunWorld, which simulates the process of formation of spectral lines in the solar photosphere. As a result of the experience found a set of data structures necessary for productive work and a set of various methods of calculation which are presented in this article.*

Для изучения процессов образования линий в солнечной фотосфере – в спокойных областях и в областях тени и полутиени пятен в Уссурийской астрофизической обсерватории разработан многоцелевой программный комплекс SunWorld. Его основу составляют алгоритмы, подобные алгоритмам MALIP [1] и SPANSAT [2] и алгоритмам LINEAR [3].

В настоящей статье приводятся структура и особенности SunWorld – организующая часть комплекса, не связанная с вычислительными алгоритмами, которая позволяет обеспечить его эффективную работу. Эффективность комплекса подтверждена тем, что расчеты SunWorld за три года составили основу почти трем десяткам публикаций.

Первоначальный вариант SunWorld состоял из последовательно запускаемых программ. В процессе работы выявилась необходимость часто менять способы расчета на разных этапах вычислений (например, вносить изменения в модели, варьировать входные параметры, подбирать наиболее информативные линии). Это требовало тесного взаимодействия разных частей комплекса, а значит и создания структур данных, описывающих задачу целиком.

Круг решаемых задач определил типовые виды расчетов, на которые настроен SunWorld, а также встроенные инструменты общего назначения для анализа данных.

## **I. Структура данных комплекса SunWorld**

В процессе эксплуатации сложилась структура данных SunWorld. Это:  
**Совокупность данных обо всех атомах**

Структура данных с именем TMEND (Таблица Менделеева) объединяет в себе все необходимые данные об атомах: атомные веса, потенциалы ионизации, суммы по состояниям и т.д. Сюда же включены солнечные обилия элементов. При необходимости для каждого расчета может быть загружена своя таблица обилий.

### **Списки линий и списки сил осцилляторов**

Для некоторых исследований возникает необходимость подобрать линии по разным критериям, в таких случаях незаменима база данных. Данные в эту базу взяты главным образом из таблиц Куруча [4]. В БД есть отдельная таблица для сил осцилляторов, куда данные занесены раздельно по источникам (по авторам).

### **Векторы моделей фотосферы и их список**

Распределение температуры вдоль оптической глубины в фотосфере задает модель фотосферы. Для вычисления профилей линий, возникших в солнечных глубинах, необходимо знать распределение и множества других параметров. Распределение какого-либо параметра с глубиной называют вектором модели фотосферы. Перед расчетом профилей Стокса вычисляются все необходимые векторы, они организованы в **список векторов моделей фотосферы**. После сеанса счета векторы можно отбирать при помощи фильтров, затем выводить в виде сравнительных графиков или в виде сравнительных текстовых таблиц.

### **Многомерная матрица параметров расчета – структура Variator**

При поиске соответствия между расчетным и наблюдаемым профилями нужно перебирать значения многих входных величин. В SunWorld подгонка параметров делается не последовательно по очереди, а сразу для матрицы значений, в итоге насчитывается матрица профилей Стокса. Число переменных параметров задает размерность матрицы. Перемножив количества вариантов каждого параметра, получим общее число профилей для одного задания на расчет.

Таким образом, **вариатор** – это многомерная матрица, каждой ячейке которой приписана совокупность значений входных параметров, а также соответствующий результат расчета – четверка профилей Стокса.

Если анализ результата делается в графическом виде, размерность вариатора для одного задания не должна превышать 3 или 4, так как профили, соответствующие вариантам параметров можно расположить на графиках вдоль 4-х "осей": X, Y, ось времени (мультипликация) и цвет.

Для обеспечения универсальности системы структура VARIATOR хранит не только индивидуальную комбинацию параметров для каждой ячейки, но также и значения всех остальных входных параметров – общих для данного задания на расчет.

### ***Список посчитанных профилей Стокса***

Посчитанные профили Стокса накапливаются в общем списке. Записи в этом списке имеют поле, которое указывает номер ячейки в своем вариаторе, а также поле, которое указывает наименование расчета – внутри одного проекта допускается ряд разных расчетов ("квестов").

Все посчитанные профили можно увидеть в таблице, которая отображает интегральные параметры профилей – эквивалентную ширину и т.д. Все посчитанные профили можно скомпоновать для вывода в виде сводных графиков.

### ***Система управления проектами***

Система SunWorld позволяет работать с множеством независимых исследовательских проектов. Данные каждого проекта (текстовые файлы, которые содержат задания, посчитанные профили, настройки рисования графиков) локализованы в отдельной директории и не зависят от данных других проектов, их можно целиком изъять, заархивировать и т.д.

В рамках одного проекта возможно выполнение нескольких заданий, данные которых будут сравниваться между собой. Каждое задание называется квест (QUEST) и имеет свой собственный VARIATOR, к ячейкам которого приписаны свои рассчитанные профили.

## **II. Основные виды расчетов в SunWorld**

### ***Расчет профилей Стокса для сетки значений входных параметров***

Главный, типовой способ работы программного комплекса SunWorld - расчет профилей Стокса для набора линий, для сетки значений исходных параметров. После такого расчета следуют:

- визуальный просмотр результатов, для сравнения с профилями, полученными из наблюдений, либо
- вычисление интегральных параметров профилей.

### ***Расчет для участка длин волн***

Чтобы учесть блендингование, посчитать кусочек реального спектра, предусмотрен режим расчета для участка длин волн. В этом случае линии выбираются из базы данных по заданному интервалу длин волн.

### ***Расчет для списка линий, выбранных из базы данных***

Когда необходимы статистические исследования для многих линий, линии можно включить в задание, выбрав из БД по заданному фильтру.

### ***Режим расчета профилей слой за слоем***

Обычный расчет профиля происходит точка за точкой с шагом по длине волны. В алгоритмах SunWorld есть вариант, когда расчет ведется для всего профиля целиком слой за слоем с заданным элементарным шагом по  $\tau$ . Такой режим позволяет имитировать рассеяние, задав на каждом шаге коэффициенты перераспределения энергии по направлениям и частотам.

## ***Расчет физических величин для разных глубин фотосферы. Анализ моделей фотосферы***

Вектором модели фотосферы называют распределение физического параметра с глубиной в фотосфере. Векторы температуры, электронного и газового давлений заданы изначально, так как определяют саму модель. При расчете профилей линий вычисляется множество векторов производных физических величин. Для анализа и сравнения моделей можно специально вычислять векторы таких величин как геометрическая глубина в километрах  $h$ , градиент функции источника  $dS/d\tau$  и др. Интерфейсные страницы SunWorld позволяют увидеть графики векторов моделей или вывести их в текстовые таблицы для анализа и сравнения.

## ***Расчет газового и электронного давлений по заданному распределению температуры***

При необходимости программа может рассчитать  $P_g(\tau)$  и  $P_e(\tau)$  по известному распределению  $T(\tau)$ . Для этого используются формулы гидростатического и ионизационного равновесий.

## ***Вычисление глубин образования интенсивностей, лучевых скоростей, напряженности поля в линиях***

Если необходимо определить глубину, условия которой наиболее эффективно влияют на измеряемые значения остаточной интенсивности, лучевой скорости, напряженности поля, то в системе SunWorld для этого используется метод "пробного слоя". Расчет профиля линии повторяется много раз, в каждом расчете в узком слое от  $\tau$  до  $\tau + \Delta\tau$  величина искомого физического параметра подменяется на пиковое значение. Пробный слой перемещается по всем глубинам и таким образом определяются области, отклик от которых наиболее силен.

## ***Диалоговый подбор параметров фотосферы***

В режиме диалогового расчета предусмотрено как минимум два задания на расчет. Первое загружает профили сравнения, второе определяет общие параметры расчета, а также переменные параметры – числа, связанные с ползунками на элементах управления программы. Двигая ползунки, можно наблюдать как сами профили, так и графики, показывающие разности посчитанных и наблюдаемых профилей. Добившись минимума разности, можно считать, что подходящие физические параметры найдены.

## ***Литература***

1. Landi degl'Innocenti, E. // 1976. Astronomy & Astrophys. Suppl.Series, v.25, p.379-390.
2. Гадун А.С. Шеминова В.А. // Препр. ИТФ АН УССР. 1988 ИТФ-88-87Р 37 с. 1085.
3. Auer L.H., Heasley J.N., Milkey R.W. // Kitt Peak Natl. Obs. Contr. No 555. - 1972 - Tucson: Kitt Peak National Observatory.
4. Kurucz R. <http://kurucz.harvard.edu/LINELISTS/GFHYPERR100/>