

Процедура подготовки моделей PMOD3.

PMOD3 (Prepare MODel, step 3).

Второй шаг в подготовке векторов модели к вычислению профилей Стокса выходящего излучения – это расчет электронного и газового давлений в случае, когда для модели известно только температурное распределение. Такая ситуация бывает редкой и обычно второй шаг пропускается.

На третьем шаге мы определяем и готовим весь набор векторов и все исходные данные для расчета.

Структура, объединяющая данные для расчета.

Для расчета необходимы:

Векторы в формате модели фотосферы

Некоторые общие параметры.

Опции, позволяющие выбрать вариант расчета.

Общие глобальные параметры

```
LAMB  : REAL;      (* ДЛИНА ВОЛНЫ РАСЧЕТА *)
СТЕТА  : REAL;      (* COS ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКОГО УГЛА *)
PERH   : REAL;      (* СРЕДНЯЯ АТ.МАССА НА 1 АТОМ ВОДОРОДА *)
```

читаются из файла начальных данных.

Величины косинуса гелиоцентрического угла СТЕТА ($\mu = \cos \theta$) и длины волны LAMB (λ) зависят от контекста задачи.

Величина PERH ($\mu_{\text{per}(H)}$) - средняя молекулярная масса на одно ядро водорода может быть задана непосредственно в начальных данных или вычислена из таблицы обилий элементов в составе солнечной фотосферы.

$$\mu_{\text{per}(H)} = \sum_{k \in E_p} 10^{A_k - 12.0} \cdot \mu_k, \text{ где } \mu_k - \text{ атомный вес } k\text{-того элемента}$$

$$A_k - \text{ стандартная запись обилия элемента } E_k, \text{ отнесенного к водороду в виде } \lg\left(\frac{N_{E_k}}{N_H}\right) + 12.0,$$

таким образом:

$$\begin{aligned} \text{обилие } k\text{-го элемента} &= 10^{A_k - 12.0}, \\ \text{сумма обилий } S_A &= \sum_{k \in E_p} 10^{A_k - 12.0}, \end{aligned}$$

$$\text{средний атомный вес солнечного вещества } \mu_{\text{mean}} = \mu_{\text{per}(H)} / S_A$$

Опции управления счетом

```
KZFIELD : integer;  (* отсутствие МП *)
KZAD    : integer;  (* 1 - пренебрежение аномальной дисперсией *)
KFLAT   : integer;  (* 1 - вычисления слоя параллельно 0 - по точкам *)
NLIN    : integer;  (* > 1 - счет с блендами *)
```

Векторы физических параметров в формате модели

Векторы в формате модели делятся на два типа:

1. Непосредственно необходимые в расчете величины, обычно они являются производными.
2. Величины, описывающие устройство модели, из которых вычисляются производные векторы

Основные векторы

MT	: TVEMO;	(* температура	*)
MLGPG	: TVEMO;	(* lg газового давления	*)
MLGPE	: TVEMO;	(* lg электронного давления	*)
MVMI	: TVEMO;	(* микротурбулентная скорость км/с	*)
MVD	: TVEMO;	(* лучевая скорость км/с	*)
MH	: TVEMO;	(* напряженность поля Гс	*)
MGM	: TVEMO;	(* угол вектора поля с лучем зрения	*)
MXI	: TVEMO;	(* азимут угла вектора поля	*)

Температура, газовое и электронное давление получают в модуле PMOD1 из оригинальной модели.

Микротурбулентная и лучевая скорости, а также все параметры вектора магнитного поля могут быть заданы как исходные векторы модели фотосферы либо заполнены из заданных в стартовом файле постоянных значений.

Расчетные векторы I.

Векторы, которые используются непосредственно в расчете, но не относятся к описанию заданной спектральной линии:

MB	: TVEMO;	(* ФУНКЦИЯ ПЛАНКА	*)
MS	: TVEMO;	(* ФУНКЦИЯ ИСТОЧНИКА	*)
МКАР0	: TVEMO;	(* К-Т НЕПРЕРЫВН. ПОГЛОЩ. КАППА5000	*)
MEC	: TVEMO;	(* ОТНОШ-Е ПОГЛОЩ. КОНТИН. В ТЕК. ДЛ. ВОЛНЫ И НА 5000А	*)
MCONT	: TVEMO;	(* УРОВЕНЬ КONTИНУУМА	*)
MDLH	: TVEMO;	(* МОДЕЛЬ МАГНИТНОЕ УШИРЕНИЕ	*)
MGM	: TVEMO;	(* МАГНИТНОГО УГОЛ ВЕКТОРА ПОЛЯ С ЛУЧЕМ ЗРЕНИЯ	*)
MXI	: TVEMO;	(* ПОЛЯ АЗИМУТ ВЕКТОРА ПОЛЯ	*)
MDLVD	: TVEMO;	(* МОДЕЛЬ ЛУЧЕВОЙ СКОРОСТИ	*)

Функция Планка.

Вектор MB заполняется из вектора MT по функции Планка:

```
FUNCTION PLANK(LAMB,T:REAL):REAL; (* LAMB [АНГСТРЕМ], T [Град.Кельвина] *)
B := PLANK(LAMB,T);
```

Функция Планка в программе соответствует формуле (здесь единица длины волны – см):

$$B = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{C_2/\lambda T} - 1} \quad [\text{эрг} / \text{с} / \text{см}^3], \quad \text{где}$$

$$C_1 = 2\pi h c^2 = 1.19106 \cdot 10^{-5} \quad [\text{эрг} \cdot \text{см}^2 / \text{с}],$$

$$C_2 = hc/k = 1.43879 \quad [\text{см} \cdot \text{град}],$$

λ выражена в [см]

Функция источника.

Функция источника MS позволяет учесть отклонения от ЛТР. В первом приближении MS = MT.

Коэффициенты непрерывного поглощения.

Распределение с глубиной коэффициентов непрерывного поглощения вычисляется процедурой PROCEDURE PKAP

Настоящая версия процедуры работает следующим образом:

Сначала производится чтение таблицы коэффициентов поглощения отрицательным ионом водорода. Таблица взята из книги Аллена (К.У.Аллен "Астрофизические величины" "МИР", М., 1977 г., с.152-153) с помощью процедуры RENM (READ N-MINUS).

Коэффициенты поглощения отрицательным ионом водорода							
$\lambda(E) \backslash \Theta$	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0
3000.0	3.50	3.76	4.22	4.59	4.93	5.54	6.09
4000.0	3.63	3.90	4.34	4.73	5.08	5.66	6.23
5000.0	3.77	4.02	4.46	4.83	5.20	5.80	6.32
6000.0	3.83	4.08	4.53	4.90	5.26	5.86	6.40
8000.0	3.91	4.15	4.60	4.97	5.31	5.93	6.46
10000.0	3.95	4.17	4.63	5.03	5.33	5.94	6.52

Коэффициенты рассчитаны на один нейтральный атом водорода и на единицу электронного давления $\lg A(H^-)$, $A(H^-)$ в $1.0e-30$ [cm^4 / din]

$$\kappa = 10^{-30} \cdot 10^A \cdot P_e \cdot \frac{\sum \mu_i A_i}{A_H} / M_H$$

Затем с помощью двойной линейной интерполяции (procedure INTER4) из этой таблицы по заданным значениям температуры T и длины волны λ находятся нужные коэффициенты.

И, окончательно, находятся значения

$$\kappa_{5000} = A(H^-)_{5000, \Theta} / (a.e.m. \cdot \mu_{per(H)}) * P_e \text{ и}$$

$$\kappa_{\lambda} = A(H^-)_{\lambda, \Theta} / (a.e.m. \cdot \mu_{per(H)}) * P_e,$$

откуда получаются

$$\kappa_{5000} \quad - \text{вектор МКАР0 в структуре TCONT и}$$

$$\eta_C = \kappa_{\lambda} / \kappa_{5000} \quad - \text{вектор МЕС}$$

Таким образом:

```
МКАР0.A[I] := FUNC_KAP_HMIN(5000, MT.A[I], MLGPE.A[I]);
МЕС.A[I]   := FUNC_KAP_HMIN(LAMB, MT.A[I], MLGPE.A[I]) / МКАР0[I];
```

Уровень континуума.

Уровень континуума определяется из формулы

$$\cos \theta \frac{dI}{d\tau} = I - B$$

которая преобразуется в вид

$$\frac{dI}{dx} = \eta_C (I - B) \cdot \frac{\ln(10) \cdot 10^x}{\cos \theta}, \quad \text{где}$$

$$x = \lg \tau, \quad d\tau = d(10^x) = \ln(10) \cdot 10^x dx,$$

$$\eta_C = \kappa_\lambda^C / \kappa_{5000}^C,$$

κ_λ^C - коэффициент поглощения в континууме на интересующей нас длине волны

κ_{5000}^C - коэффициент поглощения в континууме на длине волны для которой построена модель атмосферы

Вычисление проводится суммированием (интегрированием) излучения от всех слоев, начиная от нижней границы модели методом Рунге-Кутты. В начальной точке поток излучения приравниваем к значению функции Планка. Соответствующая функция FCT процедуры Рунге-Кутты выглядит следующим образом:

$$D = \frac{\tau}{\cos \theta} * \frac{\kappa_\lambda}{\kappa_{5000}} * Y - B$$

Здесь B берется из МВ, отношение $\frac{\kappa_\lambda}{\kappa_{5000}}$ из МЕС.

Шаг процедуры интегрирования берется равным шагу сетки модели. Для нижних слоев, где τ меняется быстро, интервал делится нужное число подинтервалов, чтобы величина $\Delta \tau$ не превысила заданную величину $\Delta \tau_{\text{Max}} = 0.5$.

Модель магнитного поля и поля скоростей.

Магнитное уширение вычисляется по формуле $\Delta \lambda_H = 4.66860 \text{E-}10 * H * \lambda^2$,

где напряженность поля дана в Гауссах, длина волны – в ангстремах.

Угол поля с лучем зрения и азимут поля для расчета не отличаются от этих же величин в исходном описании модели.

Наконец, доплеровские смещения получаются из лучевых скоростей по формуле $\Delta \lambda_D = \frac{V_D}{c} * \lambda$

Векторы модели, зависящие от спектральных линий.

Расчетные векторы II.

Для расчета профилей линий важны распределения с глубиной трех параметров, определяющих форму соответствующих профилей поглощения. Это

MDLD	:	TVEMO;	(* ДОППЛЕРОВСКАЯ ПОЛУШИРИНА	*)
META	:	TVEMO;	(* ОТНОШ-Е КОЭФ-ТОВ ПОГЛОЩЕНИЯ В ЛИНИИ И НЕПРЕР.СПЕКТРЕ	*)
MA	:	TVEMO;	(* ПАРАМЕТР ЗАТУХАНИЯ	*)

Доплеровское уширение $\Delta \lambda_D$ зависит от атома, от его атомного веса. Поэтому вектор MDLD для линий одного элемента будет одним и тем же. Так как вектор на самом деле хранится в общем списке векторов LVEMO, то он вычисляется только в первый раз, а во второй раз подставляется его ссылка из LVEMO.

Величина η_0 , которая характеризует относительную силу линии, зависит от параметров атома, перехода и от длины волны. В качестве промежуточных значений для её вычисления требуются

- суммы по состояниям U_0, U_1, U_2 данного атома,
- доля атома данного элемента в заданной стадии ионизации N_i / N_{tot}
- коэффициент непрерывного поглощения на текущей длине волны κ_λ^C

Соответственно к набору векторов, зависящих от линии добавляются:

```

MU0  : TVEMO;      (* суммы по состояниям *)
MU1  : TVEMO;
MU2  : TVEMO;
MPART: TVEMO;      (* доля данного атома в данной стадии ионизации *)

```

и полное описание структуры, содержащей данные о каждой линии расчета, будет:

```

TLINEDATA = CLASS(TObject)
  DL   : real;      (* расст.от центра линии до начальной дл.волны *)
  LINE : TLIDA;     (* данные о линии *)
  ZEE  : TZEEMAN;  (* расщепление *)
  aATO : TATOM;    (* данные об атоме *)
  MDLD : TVEMO;    (* ДОППЛЕРОВСКАЯ ПОЛУШИРИНА результат расчета *)
  META : TVEMO;    (* ОТНОШ-Е КОЭФ-ТОВ ПОГЛОЩЕНИЯ результат расчета *)
  MA   : TVEMO;    (* ПАРАМЕТР ЗАТУХАНИЯ результат расчета *)
  MU0  : TVEMO;    (* суммы по состояниям *)
  MU1  : TVEMO;
  MU2  : TVEMO;
  MPART: TVEMO;    (* доля данного атома в данной стадии ионизации *)
end;

```

PROCEDURE PETA

Определение коэффициента поглощения в центре линии

Подпрограмма PARTIT позволяет сравнить суммы по состояниям, вычисленные разными способами.

Способы:

- 1.) CAREL & JUDAKU 1959
- 2.) BOLTON 1970
- 3.) IRWIN 1981

ДОПОЛНЕНИЯ

Исходные модели:

τ , $x = \lg \tau$ Z , h M	ξ_t $P_{\text{магн.поля}}$ $P_{\text{кин.}}$
---	--

T, Θ $\lg P_g, P_g, P_{tot}, N_H$ $\lg P_e, P_e, N_e$	
--	--

Генерация распределения:

C = CONST

G = GRAD $\lg \tau = (1.0, -4.0)$

M = MODEL = TABL

O = M + C

Q = M_Q + C

Описание данных, прочитанных вариатором из входного файла

Мнемоника первой буквы для данных типа векторов:

C – CONST по всей таблице

T – TABLE – приводится имя таблицы, хранимой на диске

M – MODEL – синоним к T

G – GRADIENT – вычисляется из значений для $\lg \tau = (1.0, -4.0)$

Векторы модели, зависящие от спектральных линий.

Подструктура, описывающая модель целиком

Кроме имени модели подструктура имеет поля, которые помогут отнести её к какому либо из классов:

1. Фотосферное образование: e.g. пятно, факел и т.д.
2. Учтены ли отклонения от ЛТР – да или нет
3. и т.д.

Многокомпонентная модель

Для многокомпонентных моделей может быть определена группа общих для всех компонент векторов.

N – число компонент

P[1..N] – веса каждой компоненты

V – исходные векторы для "динамической модели" + коэф-ты законов динамики

DA – дата создания рабочего представления модели

NWVE – номер версии

Функция преобразования.

Обязательными параметрами моделей для расчета профилей Стокса фраунгоферовых линий являются

```

(* функции преобразования *)
CONST
  C_fn_dummy = 0; (* без преобразования *)  $Y_2 = Y_1$ 
  C_fn_exp10 = 1; (*  $Y_2 := 10 \text{ pow } (Y_1)$  *)  $Y_2 = 10^{Y_1}$ 
  C_fn_lg     = 2; (*  $Y_2 := \log_{10}(Y_1)$  *)  $Y_2 = \log_{10}(Y_1)$ 
  C_fn_teta   = 3; (*  $Y_2 := 5040/Y_1$  *)  $Y_2 = (\lg_{10}(e) / k_{\text{Больцмана}}) / Y_1$ 
  C_fn_1div   = 4; (*  $Y_2 := 1/Y_1$  *)  $Y_2 = 1/Y_1$ 
  C_fn_exp    = 5; (*  $Y_2 := \exp(Y_1)$  *)  $Y_2 = e^{Y_1}$ 
  C_fn_ln     = 6; (*  $Y_2 := \ln(Y_1)$  *)  $Y_2 = \ln(Y_1)$ 

```

и соответственно определить единую функцию:

```

function fn_convert(Y1:real;Key:integer):real;
begin
  case Key of
    C_fn_dummy : result := Y1;
    C_fn_lg     : result := log10(Y1);
    C_fn_exp10  : result := EXP(Y1*C_LN10);
    C_fn_teta   : result := C_LGek/Y1;
    C_fn_1div   : result := 1/Y1;
    C_fn_exp    : result := EXP(Y1);
    C_fn_ln     : result := LN(Y1);
    else       : result := Y1;
  end; (* case *)
end;

```

Векторы модели делятся на несколько типов.

1. Векторы в формате оригинальных моделей

10. Векторы глубин

MX (= MLGTAU), MZ (масса столба), MKM (высота в километрах)

11. Исходные векторы физических параметров для моделей

MT, MPG, MPE, MH, MGM, MXI, MVD, MKSI, MKAPPA0

12. Производные векторы для анализа моделей

MdSdTau

2. Векторы в формате рабочей сетки расчета

20. Вектор глубин

21. Набор исходных векторов

22. Наборы векторов физических параметров для анализа моделей

23. Набор общих (не зависящих от линии) векторов для расчета

MB, MS, MCONT, MEC, MDLH, MGM, MXI, MDLVD

24. Наборы зависящих от линии векторов для расчета

MDLD, META, MA

25. Наборы векторов, привязанных к сетке длин волн

(например коэф-ты поглощения, плотности излучения для разных направлений, значения параметров Стокса)

Общие свойства.

1. SMOD - имя модели атмосферы
2. NAME - имя вектора, определяющее его функционал (может быть не уникально)
3. FMODE - формат модели - связка с вектором глубин
4. Опции принадлежности к типам векторов I_0, I_1, I_2, II_0, II_1, II_2, II_3
5. Опция принадлежности к типу II_4
6. LAM0 - длина волны расчета
7. LAML - длина волны линии, если задана линия
8. LAMC - длина волны текущая, если вектор привязан к сетке длин волн
9. LIN - Id линии
10. ATOM - Id атома (хим.элемента)
11. KSrc - опция 1/2 оригинальная модель / расчетная модель
12. KX - опция вектора глубин 0-не глубины; 1 - X=lg(Tau); >1 - другие
- 13.

Часть векторов является обязательно используемыми в отдельных алгоритмах. К ним лучше обращаться по именам, а не по индексам. Предлагается следующий подход:

Все вектора, кроме векторов, привязанных к сетке длин волн размещаются в списка (TList). Для доступа по имени создаем указатели с соответствующими именами и эти указатели переадресуем на нужные элементы списка TList.

TVEMO = packed class(TObject)

(* полное описание вектора модели *)

```

SMOD : string; (* имя модели *)
NAME : string; (* имя вектора, определяющее его функционал *)
EXT : string; (* (CHR3) для совместимости со старым PMOD1 *)
FMOD : integer; (* номер формата модели (для стандартных форматов) *)
KSrc : byte; (* 1/0 - вектор оригинальной модели *)
KWrk : byte; (* 1/0 - вектор, включенный в расчеты по модели *)
KTyp : byte; (* 1/0 - вектор для вывода для анализа *)
KX : byte; (* 1/0 - вектор - ордината (X функции) *)
KLin : byte; (* 1/0 - вектор, заданный для уникальной сп.линии *)
KAt : byte; (* 1/0 - вектор, заданный для уникального атома *)
KLam : byte; (* 1/0 - вектор на точке в сетке длин волн *)
PhDe : pointer; (* заготовка - физическая размерность *)

(* возможно связанные с вектором величины: *)
LIN8 : CHR8; (* идентификатор линии (или нули, пробелы) *)
ATOM : CHR2; (* ИДЕНТИФИКАТОР АТОМА *)

(* ключи для чтения из разных вариантов исходных таблиц: *)
KEY1 : TReadKey; (* ключ S, ф-я преобразования IdFunc *)
KEY2 : TReadKey;
KEY3 : TReadKey;
SCAL1 : TModSCAL; (* три варианта для рисования графика *)
SCAL2 : TModSCAL;
SCAL3 : TModSCAL;

X : TVEMO; (* ссылка на вектор глубин X = lg(Tau) *)
A : TARE; (* динамический массив *)
N : integer; (* отведенное место для массива в SizeOf(Real) *)

constructor Create;

end; (* TVEMO *)

(*=====*)
TLVEMO = class(TList) (* хранитель всех векторов в формате моделей *)
  CurMOD : string; (* строка - имя модели (сост.часть им.файла) *)
procedure AddVec(Name0,Ext0,K1,K2,K3:string;i1,i2,i3:integer); (* определить *)
function SercN(Name0:string):integer; (* найти вектор по имени *)
function GetModVec(sMOD0,Name0:string):integer; (* найти вектор *)
procedure SetScal(Name0:string;I:integer;Ch:char;X0,X1,XD:real); (* задать Scal *)

end;
```