

STARTING MODEL FOR PHOTOSPHERES OF LATE-TYPE STARS MODELO INICIAL PARA FOTOSFERAS DE ESTRELLAS TARDIAS

R. D. Rohrmann

Observatorio Astronómico de la U.N.C., SeCyT

Abstract. A starting temperature distribution for the computation of model atmospheres including convection is proposed. To solve the transfer problem we used an iterative method based on a Feautrier-type computing scheme. We find that the starting model yields satisfactory convergence to the solution of the transfer equation.

El cálculo de un modelo de atmósfera en condiciones de ETL requiere efectuar iteraciones donde la distribución de temperatura se corrige hasta satisfacer, con cierto grado de precisión, la ecuación de transporte de energía. Es necesario para ello disponer de una distribución de temperatura inicial (T_0). Como tal puede elegirse la del correspondiente modelo gris (o una aproximación a ésta)

$$T_0^4 = 3/4 T_{\text{ef}}^4 [\tau + q(\tau)] \quad (1)$$

Técnicas de cálculo de modelos de atmósfera que presentan transporte de energía por convección, tal como la propuesta por Gustafsson (1971), son susceptibles a inestabilidades numéricas cuando se emplea una distribución inicial como la dada por (1). En estos casos, esta distribución origina en la zona convectiva un flujo de energía total (radiativo más convectivo) que excede en una fracción importante el flujo correcto (F^*). La técnica de cálculo mencionada sobrecorrige la distribución de temperatura de forma tal que en el nuevo cálculo el flujo neto es subestimado. Posteriores iteraciones presentan divergencia en los resultados.

Nuestro criterio para mejorar el modelo inicial antes de utilizar la técnica rigurosa de corrección de temperatura, consiste en buscar una distribución T_c con la cual el flujo convectivo (F_c) resultante sea efectivamente el modo de transporte dominante en aquella región donde el cálculo con T_0 dado por (1) lo sugiere.

Teorías de transporte convectivo como la mixing-length suministran una expresión para F_c en términos de la temperatura y su gradiente. Esta ecuación puede ser invertida (Crivellari & Simonneau 1991) obteniéndose una ecuación diferencial para la temperatura

$$dT/d\tau = f(T, F_c) \quad (2)$$

donde f depende además de la densidad, presión y opacidad del gas, así como de otras cantidades termodinámicas.

Describimos ahora la técnica para calcular T_c . Llamamos Ω a la región convectiva donde $F_c(T_o) > F^*$. Suponemos que existe solo una zona convectiva de importancia en la atmósfera (de lo contrario la extensión del método es inmediata). En las capas superiores a Ω damos a T_c los mismos valores que adopta T_o . En Ω los valores de T_c serán los que resultan de integrar (2) con $F_c = F^*$, desde el límite superior de la región Ω hasta su límite inferior. Como condición inicial en la integración usamos el valor de T_o en la frontera superior de Ω . Si en el borde inferior de Ω se tiene $T_o = t_o$, y de la integración resulta $T_c = t_c$, calculamos T_c en la región por debajo de Ω con la siguiente expresión

$$T_c = t_c - t_o + T_{ef} [3/4(\tau+q(\tau))]^{1/4} , \quad (3)$$

lo cual asegura que en dicha zona T_c conserve el gradiente que posee T_o .

Debido a que f depende de la presión, densidad, etc, el cálculo de T_c por integración de (2) debe realizarse en forma iterativa, resolviendo conjuntamente la ecuación de equilibrio hidrostático, y actualizando los valores de las distintas cantidades termodinámicas intervinientes. El cálculo de T_c demanda usualmente 6 o menos iteraciones (correcciones finales menores a 1K en toda la región estudiada).

Para el cálculo riguroso de la temperatura resolvemos el transporte radiativo con el esquema Feautrier, con un modo convectivo incorporado según Gustafsson (1971), y ordenando las ecuaciones de acuerdo al método de Rybicki (Gustafsson & Nissen 1972). Estudiamos seis modelos con temperaturas efectivas entre 4500 K y 7000 K, y $\log g = 4$. Usando T_c como distribución inicial de temperatura se logra estabilidad y convergencia en el cálculo de todos los modelos. Las distribuciones de temperaturas iniciales T_o (calculada con [1]) y T_c , normalizadas con la distribución final para cada modelo, se hallan dibujadas en las Figuras 1 y 2, respectivamente. Para profundidades ópticas $\tau_{\lambda 5000}$ inferiores a 2.5 hay equilibrio radiativo para todos los modelos, de manera que allí T_o y T_c coinciden. En la región convectiva T_c difiere de la solución final en menos del 4%, mientras que T_o llega a apartarse de la misma hasta en un 50% ($T_{ef} = 4500$ K) u 80% ($T_{ef} = 7000$ K).

Conclusión. Para el cálculo de un modelo de atmósfera que incluye transporte de energía por convección, siguiendo la técnica de Gustafsson, la distribución de temperatura inicial propuesta permite alcanzar la solución en forma estable, resolviendo típicos problemas de convergencia.

Referencias

- Crivellari, L. & Simonneau E. 1991, *Astrophys. J.* 367, 612.
 Gustafsson, B. 1971, *Astron. & Astrophys.* 10, 187.
 Gustafsson, B. & Nissen P. 1972, *Astron. & Astrophys.* 19, 261.

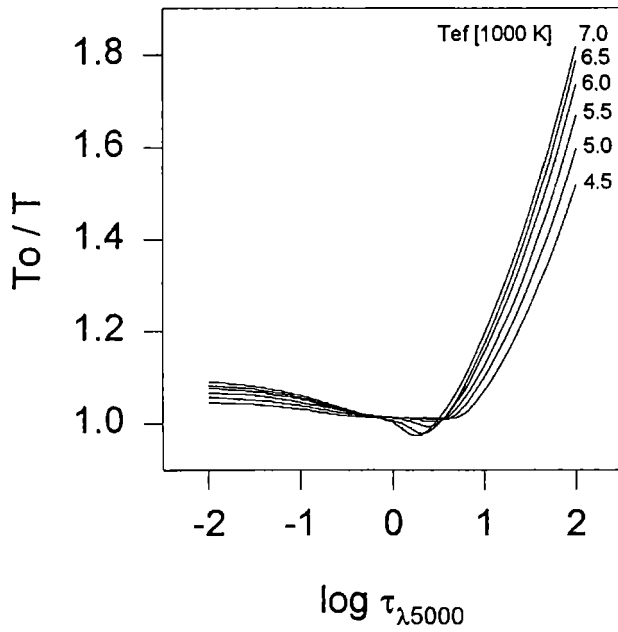


Fig. 1

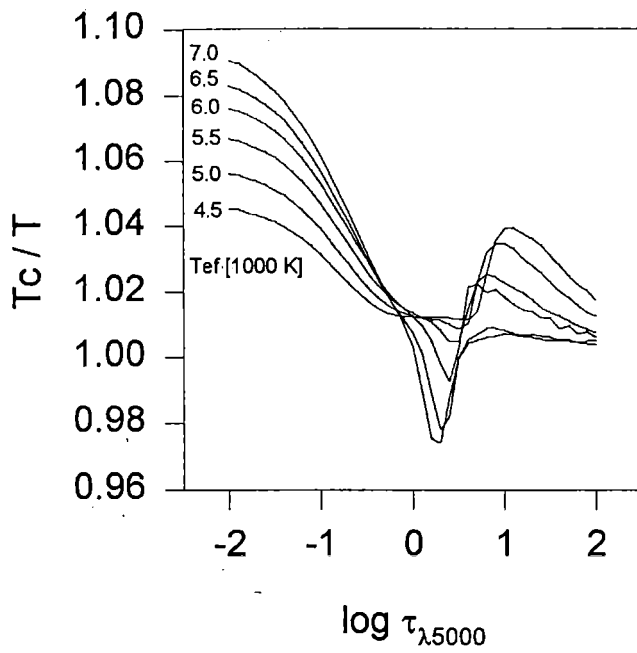


Fig. 2