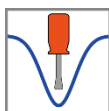


SpectroTools

Kurzanleitung 2: „Trocknen“ von Sternspektren

Peter Schlatter



SpectroTools ist ein Windows-Programm zur Bearbeitung und Auswertung eindimensionaler Spektren, die im Umfeld der Amateur-Spektroskopie gewonnen werden. In dieser Kurzanleitung wird gezeigt, wie man damit tellurische Wasserlinien aus einem Sternspektrum entfernen kann.

Vorausgesetzt ist die Kenntnis der grundlegenden Bedienschritte und Programmkonzepte, die in der Kurzanleitung 1 beschrieben sind.

In Sternspektren macht sich neben dem gasförmigen Wasser auch der atmosphärische Sauerstoff in Form von molekularen Absorptionsbanden bemerkbar. Im Wellenlängenbereich von 6000 Å bis 8000 Å treten diese sehr prominent hervor. Mit dem hier beschriebenen Verfahren könnte im Prinzip auch der tellurische Sauerstoff aus Sternspektren entfernt werden. Weil aber einige Besonderheiten zu beachten sind, ist der Sauerstoff das Thema einer nachfolgenden Kurzanleitung.

Installation

Auf dem Rechner sollte die neueste Version von SpectroTools installiert sein. Die Versionsnummer des Programms steht im Informationsfenster, das mit dem Menüpunkt **About** geöffnet wird.

SpectroTools wird aktualisiert, indem man über das Internet¹ die Datei SpectroTools.zip lädt, diese entpackt und die alte Version von SpectroTools.exe überschreibt.

¹ www.peterschlatter.ch/SpectroTools/

Schritt-für-Schritt-Anleitung

Im Ordner \SpectroTools\Spectra befindet sich ein Spektrum von δ Scorpii mit dem Namen *delsco.fit*. Dieses Spektrum weist neben der H_{α} -Emissionslinie eine ganze Reihe von Absorptionslinien auf, die durch atmosphärisches Wasser entstanden sind. Die folgende Anleitung zeigt, wie dieses Spektrum „getrocknet“ wird.

- Öffne das Spektrum *delsco.fit* mit dem Menübefehl **File/Open**.
⇒ Der Dateiname des Spektrums wird in der *File List* angezeigt.
- **Doppelklick** auf den Dateinamen in der *File List*.
⇒ Das Spektrum wird in einem neuen Fenster grafisch dargestellt.
- Wähle den Menübefehl **ITools/Remove Atm. Water**².
⇒ Es erscheint ein Dialog zum Öffnen einer Modellatmosphäre.
- Öffne die Datei **H2O_Summer_Lat47_Hgt0600_Z70.fit**.
(Im Abschnitt „Hintergrundinformationen“ wird diese Datei beschrieben).
⇒ Auf dem Bildschirm erscheint rechts oben das interaktive Werkzeug *Atmospheric Water Removal*.
- Mit den Reglern **Intensity**, **FWHM** und **Shift in x** versucht man nun, die tellurischen Linien so gut als möglich zu entfernen.
⇒ Es sind drei Profile sichtbar: in blau das Original, in schwarz das getrocknete Spektrum und in rot die atmosphärische Transmission. Im Feld *Draw* lassen sich die Profile ein- und ausschalten, um die Übersichtlichkeit zu verbessern.
- Die Wasserlinien kann man automatisch entfernen, wenn im Feld *Auto-Clean* der Automatismus aktiviert ist (entweder *Method1* oder *Method2*, siehe Abschnitt „Hintergrundinformationen“). Dazu wählt man im Spektrum einen Bereich, der möglichst keine stellaren Linien aufweist, z.B. von 6530 Å bis 6550 Å:
 - **Positioniere** den Mauszeiger im Grafikfenster
 - **Ziehe die Maus** mit gedrückter linker Taste von 6530 Å bis 6550 Å.
⇒ Die tellurischen Linien wurden im gewählten Bereich durch Optimieren des Signal/Rauschverhältnisses entfernt. Je nach Rechnerleistung dauert der Vorgang von weniger als einer Sekunde bis zu mehreren Sekunden.
- Nun kann das getrocknete Spektrum in die *File List* übertragen werden:
Die Schaltfläche **Store Dried Profile** betätigen.
⇒ Falls der Wert des *Shift*-Reglers von null verschieden ist, wird man gefragt, ob das getrocknete Spektrum entsprechend verschoben werden soll oder nicht. Es empfiehlt sich, das Spektrum nicht zu schieben, wenn die Wellenlängenkalibration sehr sorgfältig vorgenommen wurde und der *Shift*-Wert nur einige mÅ beträgt. Das getrocknete Profil wird unter dem Namen *delsco-noh2o* in die *File List* übernommen.
- Mit **Doppelklick** auf *delsco-noh2o* erscheint die grafische Darstellung des getrockneten Spektrums.
- Das Spektrum kann nun mit **File/Save as FITS** oder **File/Save as DAT** gespeichert werden.

² Das Werkzeug kann auch mit dem Knopf  oder der Taste ‚H‘ aktiviert werden (Tastenkürzel funktionieren nur, wenn ein Grafikfenster den Fokus hat).

Weitere Bedienelemente

- *ATM. Transmission File...*
Zum Laden einer anderen, evtl. besser geeigneten Modellatmosphäre.
- *Track Bar Settings...*
Über diesen Knopf sind die Endwerte und Empfindlichkeiten der drei Regler einstellbar. Die Einstellungen werden in der Initialisierungsdatei von SpectroTools permanent gespeichert und sind beim nächsten Programmstart wieder verfügbar.
- *Store Atm. Transmission*
Durch Klick auf diesen Knopf wird das Transmissionsspektrum in die *File List* übertragen.

Voraussetzungen an das zu trocknende Spektrum

- Die Wellenlängenwerte müssen gleichabständig sein (bei Spektren im FITS-Format ist das immer der Fall). Der Abstand zwischen zwei Stützstellen muss mindestens 0.01 Å betragen.
- Um die Rechenzeit in Grenzen zu halten, ist die Anzahl Spektralpunkte auf 5000 begrenzt. Ein zu breitbandiges Spektrum kann mit dem Werkzeug *ITools/Crop* auf den gewünschten Bereich zugeschnitten werden.
- Die Wellenlängen des Spektrums müssen im Bereich von 4000 Å bis 9900 Å liegen.
- Die Intensitätswerte des Kontinuums sollten nicht wesentlich von 1 abweichen. Andernfalls sind beim Trocknungsvorgang die atmosphärische Transmission und das Sternspektrum nicht gleichzeitig sichtbar. Mit dem Werkzeug *ITools/Normalize* skaliert man ein Spektrum mit einem konstanten Faktor (es handelt sich dabei NICHT um die Normierung auf das Kontinuum mit einer Spline-Funktion).

Hintergrundinformationen

Verfahren

SpectroTools wendet zur Eliminierung der tellurischen Linien ein Verfahren an, das in einer ESO-Publikation vorgestellt wurde³. Mit Hilfe einer Modellatmosphäre wird ein hoch aufgelöstes Transmissionsspektrum von Wasser gerechnet, das den Bedingungen, die bei der Aufnahme des Sternspektrums vorherrschten, möglichst nahe kommt. Zu den freien Parametern des Modells zählen der Beobachtungsstandort (geographische Breite, Meereshöhe), der Zenitwinkel des Sehstrahls (Airmass) sowie der Typ der Atmosphäre (Sommer, Winter, tropisch, gemässigt, usw.). Zur Eliminierung der tellurischen Linien wird das Sternspektrum durch die modellierte Transmission dividiert. Diese muss dabei im betrachteten Wellenlängenintervall immer grösser als null sein. Im sichtbaren Spektralbereich treten keine Probleme auf. Wasserlinien sättigen erst oberhalb von ca. 7000 Å, und dies nur in hoch aufgelösten Spektren.

Modellatmosphären

Die Modellrechnungen erfolgen mit dem Programm LBLRTM⁴ (Line By Line Radiative Transfer Model). Das Programm ist für den nicht-kommerziellen Gebrauch frei benutzbar. Allerdings ist die Inbetriebnahme recht aufwendig und es ist weder erforderlich noch praktikabel, für jede Beobachtungssituation ein Modell zu rechnen. Aus diesem Grund greift SpectroTools auf eine Bibliothek vorausberechneter Transmissionsspektren zurück. Es handelt sich um FITS-Dateien, aus deren Namen die Modellparameter ersichtlich sind.

³ Seifahrt, A. et al., The Messenger, 142, 21 (2010)

⁴ Clough, S.A. et al., J Quant. Spectrosc. and Radiat Transfer, 91, 233-244 (2005);
rtweb.aer.com.

Als Beispiel diene die Datei *H2O_Summer_Lat47_Hgt0600_Z70.fit*:

- Transmissionsspektrum von Wasser
- Sommeratmosphäre in gemässigten Breiten
- Beobachter auf der geogr. Breite von 47° und einer Meereshöhe von 600 m
- Sehstrahl mit einer Zenitdistanz von 70°

Auf der Webseite von SpectroTools sind vorausberechnete Modellatmosphären aufgelistet. Sie können bei Bedarf in den Ordner *LBLRTM_Models* transferiert werden und erscheinen dann im Öffnen-Dialog des Werkzeugs, der jederzeit durch Betätigen des Knopfes *Atm. Transmission File...* aktiviert werden kann.

Die Modellatmosphäre muss die Bedingungen zur Zeit der Aufnahme nicht genau widerspiegeln. Ein vom Modell abweichender Wassergehalt wird mit dem Regler *Intensity* korrigiert. Damit lassen sich vor allem ungenaue Zenitdistanzen sowie Abweichungen zwischen der aktuellen und modellierten Luftfeuchtigkeit ausgleichen. Die Skalierung der Transmission *T* erfolgt dabei mit einer Exponentialfunktion:

$$T = T_0^{p/100}.$$

T_0 ist die vom Modell berechnete Transmission und p der Zahlenwert des Reglers. Werte von 40% bis 250% sind ohne Weiteres tolerierbar. Andernfalls sollte man ein besseres Modell laden. Nicht zu vernachlässigen ist die Meereshöhe des Beobachters. Denn LBLRTM berücksichtigt die Druckverbreiterung und Druckverschiebung der Absorptionslinien. Ein Beobachter auf 1000 m Höhe wird demnach unabhängig von der Wetterlage immer die schlankeren H₂O-Linien messen als ein Beobachter auf Meereshöhe. Allerdings ist dieser Effekt nur bei hoch aufgelösten Spektren mit sehr grossem S/N von Bedeutung.

Die Regler FWHM und Shift in x

Mit dem Regler *FWHM* passt man die Auflösung des Transmissionsspektrums der Auflösung des Spektrographen an. Das Transmissionsspektrum wird dabei mit einer Gauss-Funktion gefaltet, deren Halbwertsbreite gleich dem Reglerwert ist. Die Halbwertsbreite wird über den ganzen Spektralbereich als konstant angenommen.

Das vorliegende Spektrum wurde mit einem Lhires III und einem Kamerasensor aufgenommen, der etwas grösser war als vom Hersteller empfohlen. An den Bildrändern ist deshalb die Auflösung schlechter als im Zentrum. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, die tellurischen Linien gleichzeitig über den ganzen Spektralbereich zu entfernen, weil der Algorithmus von einer konstanten „Line Spread Function“ ausgeht.

Mit dem Trocknungswerkzeug kann die Wellenlängenkalibration des Spektrums sehr präzise überprüft werden. Denn Nullpunktfehler im Bereich weniger mÅ äussern sich bei jeder Wasserlinie in Form von S-förmigen Residuen. Bei optimal eliminierten Wasserlinien ist der Wert des *Shift* Reglers gleich dem Nullpunktfehler der Wellenlängenachse.

Auto-Clean

Die Auto-Clean-Funktion optimiert im ausgewählten Wellenlängenbereich das Signal/Rauschverhältnis. Die Methode funktioniert nur, wenn in diesem Bereich möglichst keine stellaren Linien vorhanden sind und wenn das Kontinuum nur leicht gekrümmt ist. Bei heissen Sternen findet man immer solche Bereiche, bei kalten wird es schwierig. Für die Optimierung stehen zwei Methoden⁵ zur Verfügung. Die erste Methode ist sehr robust, aber unter Umständen etwas langsamer als die zweite.

⁵ Beide Algorithmen sind dem Buch „Numerical Recipes in C“ entnommen. Methode 1 verwendet „amoeba“, Methode 2 „powell“, siehe <http://apps.nrbook.com/c/index.html>.