

Spektroskopie 1

Klassifikation der Sternspektren

Astronomisches Praktikum

ABSTRACT

Für beide Aufgaben haben wir dreißig Sternspektren bekommen. Zuerst haben wir uns in Fraunhofer (den Entdecker der Sternspektren, der beim Klassifizieren keine Ahnung hatte, wie die Sternspektren zustande kommen) hineinversetzt und die Sternspektren mit einem eigenen Klassifikationssystem eingeteilt. Dann haben wir das tatsächliche Klassifikationssystem zum klassifizieren der Sternspektren verwendet.

1. Aufgabe: Eigene Klassifikation von Sternspektren

Bei der ersten Aufgabe sollten wir die Sternspektren, ohne physikalische Eigenschaften einzubeziehen, in ein eigenes Klassifikationssystem einordnen. Als Unterlage dafür haben wir dreißig Sternspektren bekommen. Uns ist aufgefallen, dass bei den meisten Sternspektren drei Linien besonders auffällig waren. Sie stellten sich später als $H\alpha$, $H\beta$ und $H\gamma$ -Linie heraus.

Zuerst ordneten wir die Spektren danach, wie viele Linien überhaupt sichtbar waren. Bei den meisten Sternen waren alle drei Linien sichtbar (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 27 und 29). Nur wenige hatten 2 (9, 13 und 24), eine (8, 14, 20 und 28) oder überhaupt keine (0, 10, 26 und 30) Linien.

Als Feinunterteilung legten wir die Stärke der Linien (Kompromiss aus Dicke und Dunkelheit) fest. Damit auch bei den 2er und 1er-Typen klar ist, welches Zeichen sich auf welche Linie bezieht, haben wir die drei Linien mit unterschiedlichen Zeichengruppen (Großbuchstaben, Kleinbuchstaben und Zahlen) versehen.



Abb. 1: Die Zeichen in unserem Klassifikationssystem

Spektrum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15
Klassifikation	Ee6	Ee5	Ba1	Cb2	Ab3	Gf7	Ab2	H	Hg	Dd4	Dd4	Fg	I	Dc3

Spektrum	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	29
Klassifikation	Ca1	Cb3	Ee6	Ab2	F	Cb2	Bb2	Ba1	Hh	Cc3	Fe5	I	Bb2

Tab. 1 - 2: Klassifikation der Spektren mit sichtbaren Wasserstofflinien in unserem Klassifikationssystem. Teilweise waren die Helligkeitsunterschiede zwischen den Linien sehr schwach, sodass man auch über eine Einteilung in eine der benachbarten Klassen streiten könnte.

Bei der Klassifikation war auffällig, dass alle Linien ungefähr gleich stark waren. Es gab nur einen Stern bei dem mehr als eine Helligkeitsklasse zwischen den Linien waren (C und a im Spektrum 16).

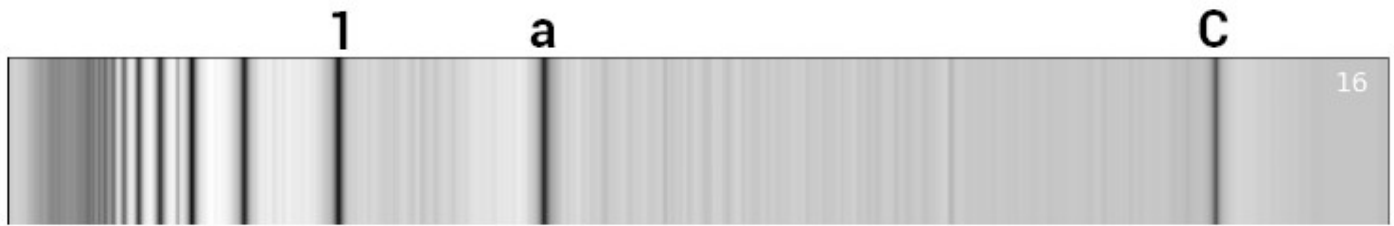


Abb. 2: Im Spektrum 16 ist die C-Linie deutlich schwächer als die a-Linie.

Bei den 2er und 1er-Gruppen sind die vorhandenen Linien sehr schwach. Die stärkste Helligkeitsklasse in dieser Gruppe ist F im Spektrum 20. Bei den 3er-Gruppen gibt es keine Linie, die schwächer als die Helligkeitsklasse G ist.



Abb. 3: Im Spektrum 20 ist nur die F-Linie erkennbar, diese jedoch deutlich.

Dass es nur geringe Helligkeitsunterschiede zwischen den Linien gibt, ist im Nachhinein logisch, weil alle betrachteten Linien vom Wasserstoff ausgelöst wurden. Die Helligkeitsunterschiede, die dennoch beobachtet wurden, kommen zufällig zustande, je nachdem zwischen welchen Schalen die Elektronen im Beobachtungszeitraum gerade hin- und herspringen.

Das Auswählen gerade dieser Linien ist daher im Nachhinein gesehen nicht sinnvoll. Viel mehr sollte man eine Wasserstoff- eine Helium- und eine Linie eines schweren Elements für die Definition auswählen. Besonders genau wird die Definition wenn man nicht nur eine, sondern den Durchschnitt aus mehreren Linien des selben Linientyps nimmt.

Auf diese Idee kann man auch ohne Wissen über die Ursachen nur durch Beobachtung der Spektren kommen, wenn einem die Korrelation zwischen den einzelnen Linien auffällt. Ohne es zu wissen, hat man dann schon eine physikalischere Definition: In roten Riesen sind die Wasserstofflinien sehr schwach während in Hauptreihensternen die Linien für schwere Elemente sehr schwach sind.

Mit genaueren Messmethoden kann man die Helligkeitstypen feiner unterteilen. Dafür ist es notwendig, dass man die Sterne länger oder öfter betrachtet, damit man auf allen Linien durchschnittlich viele Sprünge zwischen den Schalen beobachtet. Die Grenzen zwischen den Helligkeitsklassen könnte man genau in Magnituden festlegen.

Grenzen in der Dicke kann man nicht so leicht festlegen, weil diese vom Prisma abhängt, mit denen man das Licht aufbricht (das kann man auch ohne Wissen über die Entstehung der Spektren durch ausprobieren herausfinden). Man kann aber ein genormtes Standardprisma verwenden oder (durch ausprobieren auch ohne Kenntnis der Lichtbrechung) eine Formel entwickeln um mit Hilfe der Größe des Prismas die beobachtete Liniendicke auf die Liniendicke bei einem Standardprisma umzurechnen.

Früher oder später wird natürlich auch jemand auf die Idee kommen, nicht nur Sternspektren sondern auch Spektren von irdischen Lichtquellen zu messen und sie mit der chemischen Zusammensetzung zu vergleichen, sodass man zu einer physikalisch sinnvollen Definition für Sternspektren übergehen kann.

2. Aufgabe: Wissenschaftliche Einteilung von Sternspektren

Als Fraunhofer die Sternspektren entdeckte, ordnete er den am stärksten sichtbaren Linien Großbuchstaben zu. Er begann beim roten Ende mit A und endete beim blauen Ende mit H. Als man auch den infraroten und den ultravioletten Teil des Spektrums beobachten konnte, kamen weitere Buchstaben dazu. Schließlich stellte man fest, dass die Temperatur nicht von dem Ort der Linie im Spektrum abhängt. Nach Temperatur geordnet ergibt sich statt dessen die Reihenfolge O, B, A, F, G, K, M.

Die Reihenfolge der Buchstaben wird als Altlast bleiben. Eine Änderung wäre viel zu aufwendig, weil man alle Bücher neu drucken müsste und das in keinem Verhältnis zum Vorteil der besseren Merkbarkeit steht. Altlasten waren unvermeidlich, weil man bei der Einteilung nichts über die physikalische Interpretation wusste. Auch bei unserer Version waren Altlasten, wie die Ausschöpfung aller Zeichenarten für Wasserstofflinien, dabei.

Inzwischen verwendet man gar nicht mehr nur die Linien, denen früher der jeweilige Buchstabe zugeordnet wurde, um das Spektrum zu klassifizieren, weil es klarer unterscheidbare Eigenschaften gibt. Selbst bei dieser leichteren Klassifikationsmethode ist auffällig, dass oft unauffälligere Linien verwendet werden müssen.

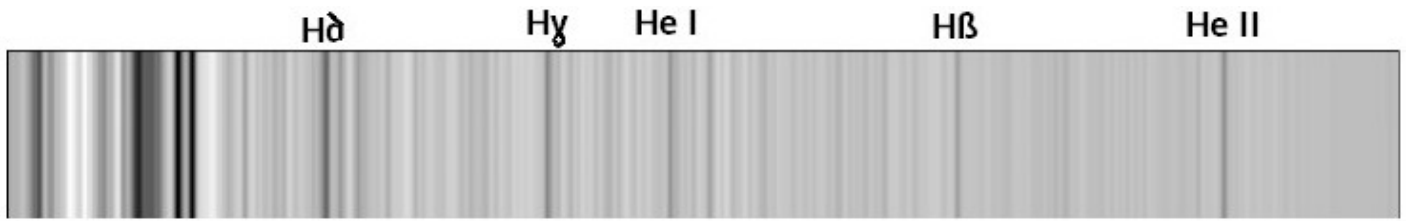


Abb. 4: Bei B-Sternen sind die H β , H γ und H δ -Linie, sowie die He-I und He-II-Linie im blauen vorhanden.



Abb. 5: Bei A-Sternen sind die H β , H γ und H δ -Linie vorhanden, die Ca-H-Linie ist schwächer als die Ca-K-Linie.

Das liegt daran, dass schwere Elemente wie Kalzium und Titaniumoxid in den meisten Sternen nur selten vorkommen. Diese Stoffe erzeugen daher ausschließlich unauffällige Linien.

Die Verwendung dieser Stoffe zur Definition ist notwendig, damit die Einteilung physikalische Relevanz hat, weil sowohl Wasserstoff, als auch Helium, als auch schwere Elemente (Ca und TiO) berücksichtigt werden. Dadurch kann man nicht nur auf die chemische Zusammensetzung, sondern auch auf damit zusammenhängende Eigenschaften wie die Leuchtkraft schließen.

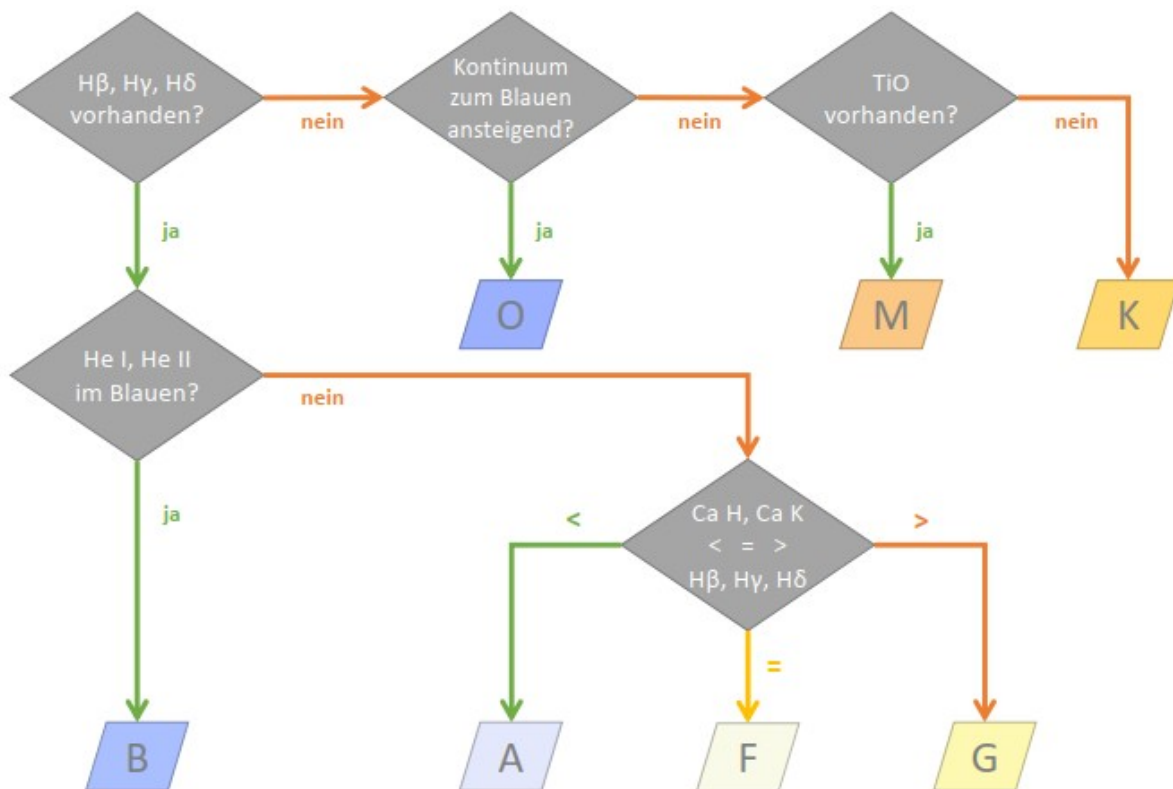


Abb. 6: Mit dieser Anleitung kann man die Sternklasse aus einem Spektrum bestimmen.

Wir haben die Anleitung verwendet um folgende Sterne zu klassifizieren:

- 2 O-Sterne: 0, 8
- 4 B-Sterne: 1, 5, 19 und 21
- 6 A-Sterne: 3, 7, 16, 17, 23 und 25
- 3 F-Sterne: 4, 22 und 29
- 7 G-Sterne: 2, 6, 11, 12, 15, 18 und 27
- 3 K-Sterne: 10, 14 und 28
- 5 M-Sterne: 9, 13, 20, 24 und 26

Die Unterteilung zwischen A, F und G-Sternen hat dabei große Ungenauigkeiten verursacht, weil die Ca-H-Linie so nahe bei der H ϵ -Linie war, dass man diese kaum auseinander halten konnte. Auch die Unterteilung nach der TiO-Linie war kaum möglich, weil diese so schwach war, dass sie sich kaum von den anderen Linien unterscheidet.

Um auch nah beieinander liegende Linien (wie Ca H und H ϵ) zu unterscheiden, kann man Mikroskope verwenden. Schwache Linien wie TiO kann man mit Photonen-zählern messen. So kann man die Sternspektren in jedem Fall den passenden Sterntypen zuordnen.

Die Sterne mit einer sehr hohen Leuchtkraft kamen bei den Sternspektren aus der Angabe überproportional oft vor, die Sterne mit einer sehr geringen Leuchtkraft überproportional selten. Das kann daran liegen, dass man die Sterne mit geringer Leuchtkraft nur dann sieht, wenn sie sehr nah sind, während man die Sterne mit hoher Leuchtkraft auch aus großer Entfernung noch gut erkennen kann.

Leuchtkraftklasse	O	B	A	F	G	K	M
Gemessene Häufigkeit	6,67%	13,33%	20%	10%	23,33%	10%	16,67%
Häufigkeit laut (1)	$3 \times 10^{-5}\%$	0,13%	0,6%	3%	7,6%	12,1%	76,45%

Tab. 3: Häufigkeit der Leuchtkraftklassen im Universum laut (1) und in unserer Messung

3. Conclusio

Bei dieser Praktikumseinheit hat sich gezeigt, wieso anfängliche Definitionen oft umgestoßen werden müssen: Während sich das eigene Klassifikationssystem, das ohne Kenntnisse der physikalischen Eigenschaften entstanden ist, auf die Linien bezieht, die am leichtesten sichtbar sind, bezieht sich das tatsächliche Klassifikationssystem teilweise auf kaum erkennbare Linien, die aber physikalisch relevant sind.

References

- [1] Bernd Leitenberger, <https://bernd-leitenberger.de/spektralklassen.shtml>, 29. November 2012