

Praktikumsversuch im Astronomie-Praktikum

„Spektroskopie des kosmischen Silikatstaubes“

Dauer: 3 Stunden

0. Aufgabenstellung:

1. Bestimmen Sie mit Hilfe infrarot-spektroskopischer Messungen an Analogmaterialien anhand der Charakteristik der Si-O-Streckschwingungsbande die mineralogische Struktur kosmischer Silikate.
2. Berechnen Sie aus dem gemessenen Massenabsorptionskoeffizienten im Maximum der genannten Bande die Säulendichte der kosmischen Silikatpartikel zwischen der Sonne und dem galaktischen Zentrum.

1. Grundlagen:

Kosmischer Staub stellt ca. 1% der Masse des interstellaren Mediums in der Galaxis. Er besteht aus festen Partikeln mit Größen im Submikrometerbereich. Ein großer Anteil dieses Staubes besteht chemisch gesehen aus Silikaten, d.h. Verbindungen von Silizium, Sauerstoff, und anderen kosmisch häufigen Elementen wie Magnesium und Eisen. Silikate können sowohl geordnete (kristalline) als auch ungeordnete (amorphe, glasige) Festkörperstrukturen bilden. Diese können durch Umgebungseinflüsse (hohe Temperaturen, Bestrahlung) auch ineinander überführt werden. Daher erlaubt die Kenntnis der mineralogischen Struktur Rückschlüsse auf die Umgebung der Partikel, z.B. auch über die physikalischen Bedingungen im interstellaren Medium.

Die Festkörperstruktur der Silikate besteht aus SiO_4 -Tetraedern, die über die von den O-Atomen besetzten Ecken in einer oder mehreren Dimensionen miteinander vernetzt sein können. Bei kristallinen Silikaten unterscheidet man Inselsilikate (Olivine) mit isolierten Tetraedern, Kettensilikate (Pyroxene), Schichtsilikate, und die dreidimensional vernetzten SiO_2 -Modifikationen (Quarz, Cristobalit). Der Einbau von Metallionen („Netzwerkwandlern“) verringert den Vernetzungsgrad. Amorphe Silikate weisen gleichzeitig mehrere Vernetzungstypen auf, jedoch dominiert zumeist einer von ihnen.

Die mineralogische Struktur von Festkörpern kann durch Analyse der Schwingungsspektren aufgeklärt werden. Bei Silikaten werden diese durch die Streck- und Deformationsschwingungen der SiO_4 -Tetraeder dominiert. In Infrarotabsorptions- und -emissionsspektren verursacht die Anregung dieser Schwingungsübergänge Banden bei Wellenlängen von ca. 8-12 bzw. 15-35 Mikrometern. Dabei weisen kristalline Silikate eine Vielzahl scharfer Banden in diesen Bereichen auf, während ungeordnete Silikate durch breite Banden charakterisiert sind, die man sich als durch Verbreiterung und Verschmelzung der kristallinen Schwingungsmoden entstanden vorstellen kann.

2. Versuchsdurchführung:

1. Es sollen die Schwingungsspektren von 6 verschiedenen Silikaten mit dem Fourier-Transform-Infrarotspektrometer gemessen werden. Dazu werden die Silikatproben im Verhältnis von 1:500 mit einem IR-transparenten Material (KBr) gemischt und in die Form kleiner Pellets von 200mg Gewicht und 13mm Durchmesser gepresst. Ein solches Pellet wird von den Studenten präpariert, die weiteren sind am Versuchsplatz vorhanden, einschließlich eines Vergleichs-Presslings aus reinem KBr. Zum Einwiegen der Probe (ca. 0.4mg Silikat) und des KBr steht eine Analysenwaage zur Verfügung, Verluste durch die Präparation sind einzukalkulieren. Das Mischen erfolgt mit Hilfe von Mörser und Pistill, das Pressen im Presswerkzeug unter Vakuum mit Hilfe einer Laborpresse bei einer Belastung von 10t.
2. Die Messung mit dem FTIR-Spektrometer (Bruker 113v) erfolgt durch die Studenten nach einer Einweisung zur Bedienung des Instrumentes und der Software. Die Proben einschließlich des Vergleichspresslings werden in einem motorisierten Probenwechsler platziert. Zunächst wird mit dem Vergleichspellet das Intensitäts-Spektrum des Instrumentes I_{KBr} (mit Verlusten durch Reflexion an den Presslings-Grenzflächen) gemessen. Die Spektren der Silikatproben werden auf dieses normiert und ergeben die jeweiligen Transmissionskoeffizienten $T_{\text{silicate}} = I_{\text{sample}}/I_{\text{KBr}}$. Alle Größen sind Funktionen der Wellenzahl, die als reziproke Wellenlänge definiert ist und in der Einheit $1/\text{cm}$ angegeben wird. Die Einstellungen des Instrumentes für diese Messungen sind:

Quelle: Globar,
Apertur: 10
Beamsplitter: KBr
Filter: Offen
Detektor: DTGS-KBr

Die Parameter können mit Hilfe des Konfigurationsfiles „Prakt.XPM“ geladen werden. Sie bestimmen u.a. den Wellenzahlbereich der Spektren, welcher hier $5000\text{cm}^{-1} - 400\text{cm}^{-1}$ beträgt, entsprechend $2\mu\text{m} - 25\mu\text{m}$ auf der Wellenlängenskala.

3. Die gemessenen Transmissionsspektren sollen dann mit einem astronomischen Spektrum verglichen werden. Dieses wurde vom Infrared Space Observatory (ISO) in Richtung auf das galaktische Zentrum gemessen (Lutz et al. 1996, siehe Abbildung unten). Hierfür sind die Wellenlängenpositionen, Form und Breite (FWHM) der Silikat-Absorptionsbanden (Si-O-Streckschwingungsbande bei $8-12\mu\text{m}$ sowie längerwellige Banden, wenn sinnvoll) aus den Spektren abzulesen. Daraus ist so weit wie möglich die Art der kosmischen Silikatpartikel zu bestimmen und zu diskutieren.
4. Aus dem experimentellen Spektrum, das die größte Ähnlichkeit mit dem beobachteten Spektrum besitzt, ist der Massenabsorptionskoeffizient κ des entsprechenden Materials im Peak der Si-O-Streckschwingungsbande zu berechnen. Dem ist die Beziehung $T_{\text{Silikat}} = \exp(-\kappa \cdot \sigma_{\text{Silikat}})$ zugrunde zu legen, wobei die Säulendichte σ_{Silikat} den Quotienten aus Masse des Silikats im Pellet und dessen Querschnittsfläche (bei 13mm Durchmesser) darstellt.
5. Das Spektrum des galaktischen Zentrums kann ebenfalls als das Ergebnis einer Transmissionsmessung mit der „Lichtquelle“ Sgr A* und einer „Probe“ feinverteilten Silikatstaubes im vom Teleskopinstrument beobachteten „Beam“ betrachtet werden.

Dieses Spektrum ist zunächst noch nicht auf die spektrale Intensität der „Quelle“ normiert worden, jedoch kann der Transmissionskoeffizient der „Probe“ im Minimum der Silikatabsorptionsbande aus dem gemessenen Strahlungsfluss, dividiert durch einen Schätzwert, der sich ohne die Absorptionsbande ergeben würde, näherungsweise bestimmt werden (verbinden Sie dazu spektrale Punkte links und rechts der Bande gerade und lesen Sie bei der Wellenlänge des Minimums ab). Unter Annahme dieses Verhältniswertes für T_{silicate} kann nun die Säulendichte des Silikatstaubes auf der Sichtlinie zum galaktischen Zentrum wiederum nach der in 4. gegebenen Formel berechnet werden, wobei der oben für das Silikat-Analogmaterial erhaltene Wert von κ benutzt wird.

6. Es ist interessant, die erhaltene Säulendichte in eine Anzahlldichte der Teilchen im interstellaren Raum umzurechnen. Dafür muss σ_{Silicate} durch die Weglänge l , über welche die „Probe“ verteilt ist (Distanz zum galaktischen Zentrum), und durch die Masse eines einzelnen Staubteilchens geteilt werden ($\sigma_{\text{Silicate}} = m/A = N \cdot m_{\text{Particle}} / (V/l) = N/V \cdot m_{\text{Particle}} \cdot l$). Für die Abschätzung von m_{Particle} können ein Teilchendurchmesser von 100nm und eine Massendichte des Silikats von 3g/cm^3 angenommen werden.

3. Materialien und Geräte:

1. Proben Siliziumdioxid (Quarzglas und Bergkristall)
2. Proben $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ (Magnesiumsilikatglas und Bronzit)
3. Proben $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ (Sol-Gel-Silikat und Olivin)
4. Einbettungsmaterial Kaliumbromid
5. Analysenwaage
6. Mörser, Pistill
7. Presswerkzeug
8. Spatel, Pinsel
9. FTIR-Spektrometer Bruker 113v
10. Infrarot-Spektrum des Galaktischen Zentrums (ISO-SWS, aus [1])

4. Literatur:

- [1] D. Lutz, H. Feuchtgruber, R. Genzel, et al., „SWS observations of the Galactic Center“, *Astron. Astrophys.* 315 (1996), L269
- [2] F. Kemper, W.J. Vriend, A.G.G.M. Tielens, „The absence of crystalline silicates in the diffuse interstellar medium“, *Astrophys. J.* 609 (2004), 826

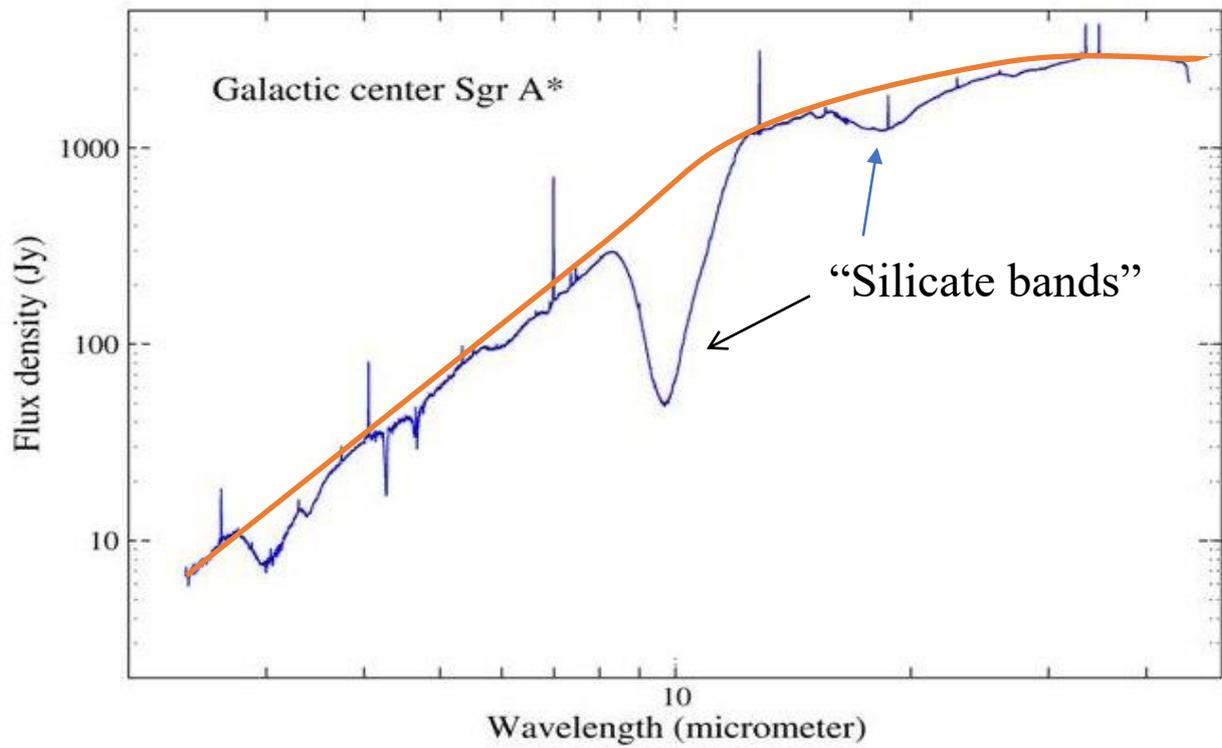


Fig. 1 ISO/SWS-Spektrum des galaktischen Zentrums (Lutz et al. 1996, blaue Kurve), Die orange Linie zeigt einen angenommenen Verlauf des Spektrums ohne die Absorptionsbanden des auf der Sichtlinie befindlichen Staubes.