

Diss. ETH No. 12510

Balloon-Borne Far-Infrared Fabry-Perot Spectrometer for Astrophysical Observations

A dissertation submitted to the

*Swiss Federal Institute of Technology
ETH Zürich*

for the degree of

Doctor of Natural Sciences

presented by

Roland Brodbeck
Dipl. Phys. ETH
born June 19, 1966
citizen of Eschenz (TG)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Fritz K. Kneubühl,
ETH Zurich, refereee

Prof. Dr. Daniel Huguenin,
Geneva Observatory, co-referee

Zurich, December 1997

Summary

The Infrared Physics Laboratory of the ETH Zurich in cooperation with the Geneva Observatory operates a stratospheric balloon-borne 60cm \varnothing far-infrared telescope (FIT) for astronomical observation. FIT was successfully flown several times between 1981 and 1993 for far-infrared photometry of the Sun, Planets and star-forming regions. Subsequently, we wanted also measure far-infrared emission lines from star-forming regions. Among them the most prominent are the 157 μm [CII] line and the 205 μm [NII] line. To measure these line emissions and their spatial distribution we have designed and built a special far-infrared spectrometer (FIS), which was then integrated in FIT and flown in May 1996 and September 1997.

The far-infrared spectrometer (FIS) described in this thesis is a liquid-helium cooled direct-detection spectrometer which covers the wavelength range from 140 μm to 220 μm . The spectral resolution R is about 2000. FIS is based on two scanning Fabry-Perot interferometers (SFP) which reflector gaps can be varied continuously over more than 200 μm by the magnetic force of superconducting coils. The detector employed is a Ge:Ga photoconductor manufactured by the Lawrence Berkeley Laboratory. It is mechanically stressed in order to extend its sensitivity up to 220 μm . The noise equivalent power (NEP_{det}) of this detector is $2.7 \cdot 10^{-17} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$.

The performance tests and the wavelength calibration of each Fabry-Perot interferometer (SFP) have been performed with a Michelson interferometer and with the existing far-infrared laser facility of the Infrared Physics Laboratory. To enable us to perform the calibration of FIS during flight preparation at the balloon-launch facility of CNES in Aire sur l'Adour (France) we have developed a new method of calibration of FIS which is performed only with the help of an evacuable absorption cell. As a performance test of FIS we have measured spectra of water-vapor absorption lines of ambient air.

FIS was tested for the first time under stratospheric conditions during flight MIL II in Mai 1996. Flight MIL II demonstrated that we had underestimated the influence of microphonics and the temperature dependence of the detector break-down voltage. The improved FIS was flown for the second time on flight MIL III in September 1997. The line emission of [CII] at 157 μm and [NII] at 205 μm of the interstellar HII regions W51 and W75 were scheduled for observation during this flight. We also

planned to measure spectra of Jupiter and Saturn where absorption lines of NH_3 and PH_3 fall within the wavelength range of our instrument. Unfortunately, due to an accidental beak-down of the gondola stabilization designed by Geneva Observatory and a leak in the balloon no astrophysical observations could be performed. Technical in-flight tests indicated that we had solved the problem of detector breakdown and microphonics and that all other components of the instrument work well. This test permitted us to estimate the system noise equivalent power (NEP_{sys}). The NEP_{sys} was in the expected range of about $10^{-14} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$ at a wavelength of $157 \mu\text{m}$ and of about $2 \cdot 10^{-14} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$ at $205 \mu\text{m}$ wavelength. In the future FIS will probably be also used for solid state spectroscopy in a laboratory.

Zusammenfassung

Das Labor für Infrarotphysik der ETH Zürich unterhält gemeinsam mit dem Observatorium Genf ein 60 cm Ø Stratosphärenballon-Teleskop (FIT) für astrophysikalische Beobachtungen im fernen Infrarot. FIT wurde von 1981 bis 1993 für Ferninfrarot-Photometrie von Sonne, Planeten und Sternentstehungsgebieten mehrmals erfolgreich geflogen. Danach entschlossen wir uns, unsere Beobachtungen auf Ferninfrarot-Emissionslinien von Sternentstehungsgebieten auszudehnen. Unter diesen Emissionslinien sind die 157 μm Linie von [CII] und die 205 μm Linie von [NII] die bedeutendsten. Zur Messung dieser Emissionslinien und ihrer räumlichen Verteilung haben wir ein spezielles Ferninfrarot-Spektrometer (FIS) gebaut, in FIT integriert und im Mai 1996 und September 1997 geflogen.

Das in dieser Dissertation beschriebene Ferninfrarot-Spektrometer FIS ist mit flüssigem Helium gekühlt und überdeckt den Wellenlängenbereich von 140 μm bis 220 μm bei einer spektralen Auflösung R von 2000. FIS besteht aus zwei Fabry-Perot Interferometern (SFPs) deren Reflektorabstände mit der magnetischen Kraft von Supraleiterspulen kontinuierlich über mehr als 200 μm variiert werden können. Der verwendete Detektor ist ein Ge:Ga Photoleiter, der von Lawrence Berkeley Laboratory hergestellt wurde. Er wird mechanisch belastet um seinen Empfindlichkeitsbereich bis auf 220 μm Wellenlänge auszudehnen. Die äquivalente Rauschleistung (NEP_{det}) dieses Detektors beträgt $2.7 \cdot 10^{-17} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$.

Tests und Wellenlängeneichung jedes Fabry-Perots (SFP) wurde mit einem Michelson Interferometer und dem Ferninfrarot-Laser des Laboratoriums für Infrarotphysik der ETH Zürich durchgeführt. Auf der Stratosphärenballonstation von CNES in Aire/Adour (Frankreich) stehen keine monochromatische Ferninfrarot-Laser zur Verfügung. Deshalb haben wir eine neue Eichmethode entwickelt, welche nur eine evakuierbare Absorptionszelle benötigt. Als Leistungstest für FIS haben wir Absorptionsspektren von Wasserdampf in Luft gemessen.

Während des Fluges MIL II im Mai 1996 wurde das Instrument zum erstenmal unter Stratosphärenbedingungen getestet. Dabei wurde festgestellt, daß wir den Einfluß der Mikrophonie und die Temperaturabhängigkeit der Durchbruchsspannung des Detektors unterschätzt hatten. Der zweite Flug (MIL III) mit dem verbesserten FIS fand im September 1997 statt. Die Emissionslinien von [CII] bei 157 μm und [NII] bei

205 μm waren zur Beobachtung vorgesehen. Zusätzlich planten wir Spektren von Jupiter und Saturn zu messen. In ihrem Ferninfrarotspektrum befinden sich Absorptionslinien von NH_3 und PH_3 in unserem Wellenlängenbereich. Unglücklicherweise konnten wir aufgrund einer Funktionsstörung in der vom Observatorium Genf entwickelten Gondelstabilisierung keine astrophysikalischen Messungen durchführen. Während des Fluges durchgeführte technische Tests zeigten, daß wir die bei MIL II aufgetretenen Probleme des Mikophonieeffekts und des Detektordurchbruchs gelöst hatten. Wir konnten weiter feststellen, daß alle Komponenten unseres Systems gut arbeiteten. Die Tests erlaubten uns die äquivalente Rauschleistung (NEPSYS) des gesamten Systems unter Flugbedingungen zu bestimmen. Sie betrug etwa 10^{-14} W/Hz für 157 μm und etwa $2 \cdot 10^{-14}$ W/ $\sqrt{\text{Hz}}$ für 205 μm Wellenlänge, was im erwarteten Bereich lag. Wahrscheinlich findet FIS in Zukunft, u.a. eine neue Verwendung in der Festkörperspektroskopie.