



Doctoral Thesis

## Balloon-borne imaging of the Cygnus-X region at 260{mü}m wavelength

**Author(s):**

Schenker, Gabriel

**Publication Date:**

1993

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000695804> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 10060

# **Balloon-Borne Imaging of the Cygnus-X Region at 260 $\mu\text{m}$ Wavelength**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by  
GABRIEL SCHENKER  
Dipl. Phys. ETH  
born on the 14th April 1964  
citizen of Däniken, SO

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. F.K. Kneubühl, ETH Zurich, referee  
Prof. Dr. M.C.E. Huber, ESA/ESTEC Noordwijk, NL and ETH  
Zurich, co-referee

Zurich, January 1993

## SUMMARY

---

There is a tremendous quantity of so far unexploited astrophysical information in the far-infrared (FIR,  $50\ \mu\text{m}$  to  $500\ \mu\text{m}$ ) and submillimeter-wave ( $500\ \mu\text{m}$  to  $1\ \text{mm}$ ) bands. Unfortunately interfering effects of the terrestrial atmosphere set a limit to ground-based observations, so that reliable observations must be performed from satellites, rockets, stratospheric balloon gondolas or aircraft.

Broad-band continuum emission in these wavelength domains has its origin either in the "blackbody emission" of heated dust grains, or as a result of nonthermal emission mechanisms such as synchrotron emission. In our galaxy, the continuum emission is in most cases a useful probe of the properties of 'dust' in the interstellar medium. Star forming takes place in compact molecular clouds. These are highly opaque at visible wavelengths yet transparent in the far-infrared.

For the observation of the galactic Cygnus-X region, which contains many active star-forming clouds, we have flown, in September 1990 and in May 1992, a 60 cm Cassegrain-type telescope on a stratospheric balloon gondola designed at ETH Zurich in collaboration with Geneva Observatory. Successful measurements have been made on the dust emission of the molecular cloud complexes DR21-W75 and S106. Whilst the flight of 1990 resulted in images at  $80\ \mu\text{m}$  and  $130\ \mu\text{m}$  wavelength whose spatial and spectral resolution surpassed those taken by the InfraRed Astronomical Satellite (IRAS) flown in 1983, the flight of 1992 was aimed at obtaining images at  $260\ \mu\text{m}$  wavelength.

In this paper we report on this second flight. In view of improvements of the performance for future flights we also report on our careful investigation of the entire telescope and photometer system. We have shown that it is the noise of the amplifier electronics which limits our sensitivity and not the bolometer detector although its noise equivalent power is rather high compared to state-of-the-art bolometers. With optimal amplifier electronics we should eventually be able to measure sources with flux densities as low as several  $10^{-25}\ \text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$ .

Our measurements supplement the data collected by IRAS in 1983 which were limited to wavelengths shorter than  $100\ \mu\text{m}$ . Another satellite, the Infrared Space Observatory (ISO) will be launched in 1995 and is planned to cover the wavelength range from  $2.5\ \mu\text{m}$  to about  $190\ \mu\text{m}$ . Ground-based observations are restricted to the atmospheric windows at  $350\ \mu\text{m}$  and  $800\ \mu\text{m}$ . Thus there exists a gap between  $200\ \mu\text{m}$  and  $350\ \mu\text{m}$ . This was partially covered by our flight of May 1992. On this occasion the wavelength at  $260\ \mu\text{m}$  was selected by a liquid Helium-cooled mesh-bandpass filter of 25% bandwidth. We used a Helium-cooled bolometer with a noise equivalent power (NEP) of about  $1.1 \cdot 10^{-14}\ \text{WHz}^{-1/2}$ . The pointing accuracy of the

#### IV

telescope was  $\pm 17$  arcsec with a stability of typically 3 arcsec RMS. The chopping frequency of the secondary mirror was 8 Hz and the chopper throw  $\pm 5$  arcmin with respect to the optical axis of the telescope. For the flight of May 1992 we have, compared to the flight of September 1990, increased the size of the chopper throw, improved its symmetry and the stability of the chopper motion.

Observations were performed during 6 hours on the occasion of this flight on May 12/13, 1992 with a  $380'000 \text{ m}^3$  stratospheric balloon at a height of 39 km at the balloon station of CNES, Aire-sur-l'Adour, France. These measurements at  $260 \mu\text{m}$  are the first ever performed at this wavelength in the Cygnus-X region. We also tried to measure the well-known radio galaxy Cygnus A, yet our sensitivity did allow us to obtain an upper limit only.

On the basis of the data obtained in this work, on those measured during the flight of 1990 as well as on IRAS, the color temperatures of the dust in the sources mentioned above have been calculated. Furthermore, peak-flux densities, and total flux densities have been determined. With the aid of the color temperatures the optical depths of the various molecular cloud cores have also been evaluated. These results - together with the so-called "Chicago-assumptions" which propose certain relationships between far-infrared and submillimeter-wave radiation - were used to derive the emissivity of the dust grains, the optical depth of dust cores and grain densities in dust. We have further determined the  $\text{H}_2$  column densities, the average  $\text{H}_2$  space density and the mass of the cloud cores.

By adapting all flux densities published so far and our own data, the spectral emission in the far-infrared for the various sources mentioned above has been collated and decomposed into contributions from hot, warm and cold dust. Individual spectra pertaining to these components are represented by modified Planck-functions of the form  $\lambda^\beta B_\lambda(T)$ , with  $\beta=2$  for  $\lambda > 40 \mu\text{m}$ .

Comparison of the above results with those of other authors have shown good agreement.

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Im Ferninfrarot- (FIR, 50  $\mu\text{m}$  bis 500  $\mu\text{m}$ ) und Submillimeter-Wellenlängenbereich (500  $\mu\text{m}$  bis 1 mm) ist eine grosse Menge an bis jetzt unerforschter astrophysikalischer Information enthalten. Unglücklicherweise limitiert die Erdatmosphäre mit ihren interferierenden Effekten die bodengestützten Beobachtungen. Somit müssen aussagekräftige Messungen mit Satelliten, Raketen, Stratosphärenballonen oder hoch fliegenden Flugzeugen durchgeführt werden.

Die Breitband Emission in den erwähnten Wellenlängen stammt entweder von der "Schwarzkörper-Strahlung" aufgeheizter Staubkörner oder von nicht-thermischen Mechanismen wie Synchrotron-Emission. In unserer Milchstrasse ist die Kontinuumstrahlung in den meisten Fällen eine wichtige Informationsquelle der Eigenschaften von 'Staub' im interstellaren Medium. Sterne entstehen in kompakten Molekularwolken. Diese sind undurchsichtig im sichtbaren Wellenlängenbereich, aber transparent im Ferninfrarot.

Zur Beobachtung des galaktischen Cygnus-X Gebietes, welches viele sternbildende Molekularwolken enthält, haben wir im September 1990 und im Mai 1992 ein Cassegrain-Teleskop in einer Stratosphären-Ballongondel geflogen, welche an der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Observatorium Genf entwickelt und gebaut wurde. Erfolgreiche Messungen der Staubemission der Molekularwolken-Komplexe DR21-W75 und S106 wurden durchgeführt. Während der Flug von 1990 Bilder bei einer Wellenlänge von 80  $\mu\text{m}$  und 130  $\mu\text{m}$  lieferte, deren räumliche und spektrale Auflösung diejenige des amerikanischen Infrarot-Satelliten IRAS, welcher 1983 gestartet wurde, übertraf, ergab der Flug von 1992 Bilder bei einer Wellenlänge von 260  $\mu\text{m}$ .

In diesem Artikel berichten wir ausführlich über diesen zweiten Flug. Ausgerichtet auf zukünftige Verbesserungen der Leistungsfähigkeit haben wir ebenfalls die Rauschquellen des Systems sorgfältig untersucht. Wir haben festgestellt, dass gegenwärtig das Rauschen der Verstärker-Elektronik unsere Empfindlichkeit limitiert und nicht der Detektor, obwohl dieser im Vergleich zu den allerneuesten Detektoren ein eher bescheidenes Rauschverhalten aufweist. Unter der Annahme einer idealen Elektronik könnten wir wahrscheinlich Quellen mit Flussdichten von nur einigen  $10^{-25} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$  messen.

Unsere Messungen ergänzen die IRAS-Daten aus dem Jahre 1983, welche auf Wellenlängen kürzer als 100  $\mu\text{m}$  limitiert waren. Ein anderer Satellit, das Infrarot Space Observatorium (ISO), wird aller Voraussicht nach 1995 gestartet werden und soll den Wellenlängenbereich von 2.5  $\mu\text{m}$  bis 190  $\mu\text{m}$  abdecken. Bodengestützte Beobachtungen sind auf die atmosphärischen Fenster bei 350  $\mu\text{m}$  und 800  $\mu\text{m}$

beschränkt. Somit existiert eine Lücke zwischen ungefähr 200  $\mu\text{m}$  und 350  $\mu\text{m}$  Wellenlänge. Diese wurde mit unserem Flug vom Mai 1992 erstmals partiell abgedeckt. Bei diesem Flug benutzten wir ein Helium-gekühltes "mesh"-Bandpass-Filter mit einer Bandbreite von 25%. Das Signal wurde von einem ebenfalls Helium-gekühlten Bolometer detektiert, dessen Rausch-äquivalente Leistung (NEP) ca.  $1.1 \cdot 10^{-14} \text{ WHz}^{-1/2}$  beträgt. Die Genauigkeit der Teleskopausrichtung betrug  $\pm 17$  arcsec mit einer RMS-Stabilität von typisch 3 arcsec. Die Choppfrequenz des Sekundärspiegels betrug 8 Hz und der Choppwinkel war  $\pm 5$  arcmin, gemessen von der optischen Achse des Teleskops. Für den Flug vom Mai 1992 haben wir, im Vergleich zum Flug vom September 1990, sowohl den Choppwinkel vergrößert, als auch seine Symmetrie und Stabilität verbessert.

Beobachtungen von 6 Stunden Dauer wurden während des Fluges vom 12./13. Mai 1992 erhalten, welcher mit Hilfe eines  $380'000 \text{ m}^3$  Stratosphärenballons in einer Höhe von 39 km auf der Ballonstation des CNES in Aire-sur-l'Adour, Frankreich, durchgeführt wurde. Diese Messungen sind die ersten, die je im Wellenlängenbereich um 260  $\mu\text{m}$  in der galaktischen Cygnus-X-Region durchgeführt wurden. Wir versuchten ebenfalls, die bekannte Radio-Galaxie Cygnus A zu messen, was uns wegen mangelnder Empfindlichkeit nicht gelang.

Auf der Grundlage der Daten der Flüge vom September 1990 und vom Mai 1992 sowie von IRAS-Daten haben wir Farbtemperaturen des Staubes der erwähnten Quellen berechnet. Zusätzlich bestimmten wir maximale Flusssdichten und totale Flusssdichten. Mit Hilfe der Farbtemperaturen wurden ebenfalls die optische Dicke der Molekularwolken-Kerne ermittelt. Diese Resultate zusammen mit den sogenannten "Chicago-Annahmen", welche Zusammenhänge zwischen der Emissivität der Staubkörner, der optischen Dicke im Ferninfrarot und Submillimeter-Wellenlängenbereich, sowie der Korndichte des Staubes postulieren, wurden zur Berechnung der  $\text{H}_2$ -Kolonnendichte, der mittleren  $\text{H}_2$ -Raumdichte und der Masse der Molekularwolken-Kerne verwendet.

Unter der Zuhilfenahme aller bisher publizierten Flusssdichten und unserer eigenen Daten haben wir die spektrale Emission im Ferninfrarot- und Submillimeter-Wellenlängenbereich zusammengestellt. Diese wurde aufgespalten in Anteile von heissem, warmem und kaltem Staub, welche durch modifizierte Planck-Funktionen der Form  $\lambda^{-\beta} B_{\lambda}(T)$ , mit  $\beta=2$  für  $\lambda > 40 \mu\text{m}$  repräsentiert werden.

Ein Vergleich unserer Daten mit den Resultaten anderer Autoren zeigt gute Übereinstimmung.