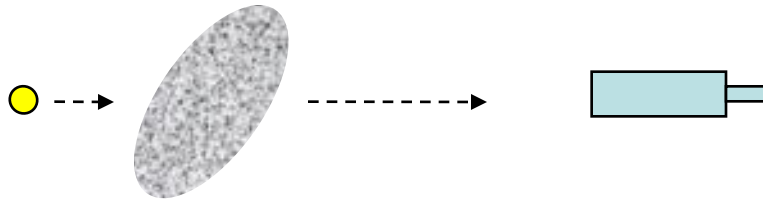


1.4. Beobachtung interstellarer und zirkumstellarer Materie

a) Absorption / Extinktion

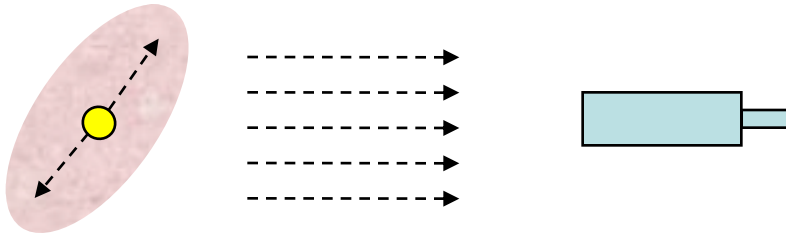


z.B. Interstellare Extinktionskurve – Absorption durch

- Elektronische Anregungen – Moleküle, „Diffuse Interstellare Banden“
- Elektronische Anregungen – Staub, „UV-hump“ bei $\lambda=217\text{nm}$
- Schwingungsanregungen – „Eis“ (Molekülwolken) z.B. H_2O bei $3\ \mu\text{m}$
- Schwingungsanregungen – Staub, „Silikatbande“ bei $\lambda=9.8\ \mu\text{m}$

Voraussetzung: - geeignete Strahlungsquelle, z.B. genügend heißer Stern für UV
- genügend lange Wegstrecke, vor allem für IR, z.B. galakt. Zentrum

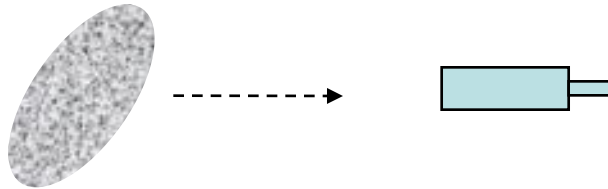
b) thermische Emission zirkumstellarer Hüllen und Scheiben



Strahlungsgleichgewicht zwischen Absorption und IR-Emission – $T=100-1500\text{K}$

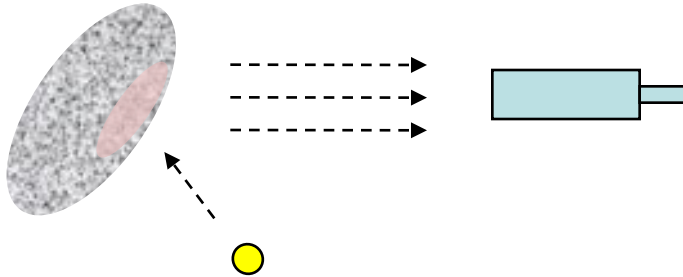
- Infrarot-Exzess – Wiensches Verschiebungsgesetz $\lambda_{\text{max}} * T \approx 3000 \text{ K } \mu\text{m}$
- Emissivität $\epsilon(\lambda) = \alpha(\lambda)$ (Absorptionskoeffizient) – Kirchhoffsches Gesetz
- Emission bevorzugt bei Anregungswellenlängen (spez. Schwingungseigenfrequenzen)
- mineralogische Information

c) thermische Emission interstellarer Wolken



- $T < 100\text{K}$, Emission im fernen IR („sub-mm“-Wellenlängen) und Radio
- Geringe Absorption/Emissivität (Staub), große Durchdringungsreichweite, Massenbestimmung
- Rotationslinien von Molekülen, z.B. $\text{CO } J=2 \rightarrow 1$, $J=3 \rightarrow 2$, CS , ^{13}CO , C^{18}O , Bestimmung von Temperaturen und Geschwindigkeiten (Doppler-Shift)

d) Photolumineszenz / stochastische Anregung



- Emission nach Absorption einzelner energiereicher Photonen
- Photolumineszenz im Sichtbaren (elektronische Anregung) – „Extended Red Emission“
- Energiekonversion in Schwingungen (→ für kurze Zeit hohe Temperatur bei kleinen Partikeln / großen Molekülen) – „Aromatic Infrared Bands (PAH bands)“

e) Streulicht

- Informationen über Größe und evtl. Ausrichtung von Staubteilchen (durch Polarisation)

1.5. Untersuchung fester Materie im Sonnensystem

a) auf der Erde:

- Meteorite (Sammlung z.B. in Wüsten oder der Antarktis)
 - von Asteroiden, Mond, Mars
 - “primitive” Meteorite (Chondrite) enthalten Material aus der Frühphase des Sonnensystems (Chondren, CAIs)
 - darüber hinaus “präsolare” Staubteilchen (Isotopensignatur)
- Interplanetare Staubteilchen (IDPs, in der oberen Atmosphäre)
 - ein Teil ist Kometenstaub (poröse chondritische unhydrierte IDPs)
 - diese enthalten “GEMS” (glasses with embedded metal and sulfide – interstellarer Staub?)

b) in-situ-Analysen durch Sondenmissionen

- Massenspektrometrie: Partikelgröße und chemische Zusammensetzung
- Richtungsempfindliche „Staubastronomie“ – auch interstellare Partikel!!
- z.B. 1986 GIOTTO (ESA), VEGA I+II (zu Halley)
 - 1990 - 2009 ULYSSES (ESA/NASA, aus der Ekliptik heraus, IS Partikel)
 - 1989 – 2003 GALILEO (NASA, zu Jupiter)
 - 1997 - ... CASSINI-HUYGENS (ESA/NASA/ASI, zu Saturn/Titan)
 - 1999 – 2005 Deep Impact (NASA, zu Tempel 1)
 - 2004 - ... ROSETTA (ESA, zu Tschurjumow-Gerassimenko – 2014)
 - Orbit + Lander
 - 2006 - ... New Horizons (NASA, zu Pluto – 2015) – Students Dust Counter (Univ. Boulder)

c) Rückhol-Missionen

- 1999 – 2006 STARDUST (NASA, zu Wild 2 - Komapartikel)
- 2003 – 2010 Hayabusa (zu Asteroid Itokawa – Bodenproben)