

Strahlung in der Atmosphäre

von: Prof. Volkmar Wirth (Zi. 426, Tel.: 39-22868)

Vorlesung: 3 Stunden pro Woche

Übung/Computerpraktikum (zusammen mit G. Luderer): nach Vereinbarung

1 Einführung

Warum eine Vorlesung über Strahlung; Was ist elektromagnetische Strahlung; Perspektive der klassischen Elektrodynamik, der Quantenmechanik, der Thermodynamik; Entstehung von elektromagnetischer Strahlung; Bedeutung in der Meteorologie; Spektralbereiche kurzwellig und langwellig (SW und LW); Größen zur Beschreibung von Strahlung (Strahlungsdichte, Fluß, Albedo, Extinktion, Absorption, Streuung etc.); solare Strahlung am Oberrand der Atmosphäre (TOA); beobachtete Spektren; absorbierende Gase

2 Thermodynamische Konzepte

Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie; Schwarzkörperstrahlung; (lokales) thermodynamisches Gleichgewicht; Planck; Stephan-Boltzmann; Wien; Kirchhoff; globales Strahlungsgleichgewicht, effektive Emissionstemperatur eines Planeten

3 Absorption, Emission und Streuung von Strahlung

Wechselwirkung von Strahlung mit einzelnen Molekülen

Energieniveaus in Atomen und Molekülen; Rotations- und Vibrationsenergie; Auswahlregeln

Linienverbreiterung und Banden

Form von Absorptions- und Emissionslinien; Doppler und Druckverbreiterung;

Streuung

Rayleigh- und Miestreuung; Phasenfunktion; Polarisierung

4 Strahlungsübertragung

Einfache Modellvorstellungen

Effektive Emissionstemperatur eines Planeten; Aufspalten der Atmosphäre in Schichten der optischen Dicke 1; Treibhauseffekt; Strahlungsgleichgewicht; “Skin”-Temperatur

Strahlungsübertragungsgleichung

Herleitung der Strahlungsübertragungsgleichung; Extinktion = Absorption + Streuung; Gesetz von Beer-Bouguer-Lambert; optischer Weg; Emission, Quellenfunktion; Einfachstreueralbedo; direkte vs. diffuse Strahlung; Spezialfälle für LW und SW Strahlung; Schwarzschildgleichung; formale Lösung (Integraldarstellung)

Langwellige Strahlungsübertragung

Planparallele Atmosphäre; optische Dicke $\tau(z)$; Transmissionsfunktion $\mathcal{T}(\tau_0, \tau_1, \mu)$; Winkel- und Frequenzintegration, Flußtransmissionsfunktion, Bandentransmissionsfunktion; graue Atmosphäre; Bandenmodelle, Grenzwert der schwachen und starken isolierten Linie; K-Distributionsmethode

Weitere näherungsweise Lösungsverfahren

Unterscheidung SW/LW; eindimensionaler vs. mehrdimensionaler Ansatz; homogene vs. inhomogene Wege; planparallele vs. sphärische Geometrie; azimutale Winkelintegration; Betrachtung von Flüssen (nach oben und nach unten gerichtet); Zweistromverfahren; Gauß-Seidel-Methode; DISORT; δ -Vierstromverfahren

Strahlungsübertragung in einem minimalen Modell

Planparallele graue Atmosphäre in Zweistromnäherung; analytische Lösung für $T(\tau)$ und die Strahlungsflüsse

5 Heizung aufgrund von Strahlung

Heizung in LW/SW Spektralbereich; unterschiedliche Bedeutung der verschiedenen Gase in der Erdatmosphäre; Strahlungsdämpfung; Newton-Kühlung; “cool-to-space“-Näherung; Formulierung der Austauschintegrale für die langwellige Strahlungsheizung; Vertikalstruktur einer Chapmanschicht

6 Gleichgewichtsbetrachtungen

Effektive Strahlungstemperatur; Strahlungsgleichgewicht; Strahlungskonvektionsgleichgewicht; Tropopausenhöhe; dynamische Heizung (vor allem in der Stratosphäre); “fixed dynamical heating“ (FDH); “Skin-Temperatur”

7 Treibhauseffekt

Grundlagen; “run-away” Treibhauseffekt; natürlicher vs. anthropogener Treibhauseffekt; Treibhausgase; Bedeutung des Wasserdampfes; Definition des Strahlungsantriebs; Komponenten des anthropogenen Strahlungsantriebs; positive und negative Rückkopplungen bzw. Rückkopplungsmechanismen; Quantifizierung der Sensitivität des Klimasystems auf den Strahlungsantrieb; Rolle von Wolken; Rolle von Feuchte in der oberen Troposphäre; Rolle der Dynamik; Eis-Albedo-Rückkopplung

8 Strahlung und Wolken

Effekte von Wolkentropfen und Eispartikeln; Wirkung von Wolken auf die Strahlungsbilanz; breitbandige Effekte von Wolken (kurz- und langewellig); Strahlungsantrieb durch Wolken.

9 Fernerkundung

Temperatur- vs. Konstituentenerkundung; Nadir vs. Limb; Imaging vs. Sounding; aktiv vs. passiv; Chapmanprofil; Gewichtungsfunktion; Fredholm’sche Integralgleichung erster Art

Empfohlene Literatur

- Andrews, D. G., J. R. Holton, and C. B. Leovy, 1987: *Middle Atmosphere Dynamics*. Academic Press. 489 pp.
- Goody, R. M. and J. L. Yung, 1995: *Atmospheric Radiation: Theoretical Basis*. Oxford University Press, 536 pp.
- Goody, R. M. and J. C. G. Walker, 1972: *Atmospheres*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 150 pp.
- Goody, R. M. and J. C. Walker, 1985: *Atmosphären*. Enke, Stuttgart, 180 pp. übersetzt von J. R. Krause.
- Liou, K. N., 2002: *An Introduction to Atmospheric Radiation*. Academic Press, 583 pp., second edition edition.
- Peixoto, J. P. and A. H. Oort, 1992: *Physics of Climate*. American Institute of Physics, 520 pp.
- Salby, M. L., 1996: *Fundamentals of Atmospheric Physics*. Academic Press, Volume 61 in the International Geophysics Series, 627 pp.
- Thomas, G. E. and K. Stamnes, 1999: *Radiative Transfer in the Atmosphere and Ocean*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, Melbourne.