

Seh ich an Dir vorbei, erkenn ich Deine Atmosphäre ...

Reiner Hennig

Von der Raumsonde Cassini aus wird regelmäßig untersucht, wie helle Sterne hinter dem Planeten Saturn verschwinden. Dabei wird das Licht dieser Sterne von der Atmosphäre des Planeten zum Teil verschluckt (absorbiert). Diese Absorption liefert uns Informationen über die Struktur und die Bestandteile der Saturnatmosphäre. Auch von der Erde aus liefert die Beobachtung der Bedeckung heller Sterne Auskünfte über die Atmosphäre von Planeten. Bei der Erkundung der Atmosphäre der Erde wird häufig ein ähnliches Verfahren verwendet: Man schaut von einem Satelliten aus tangential durch die Atmosphäre hin zur Sonne oder auch zum Mond.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Astronomie	Planeten	Atmosphären, Strahlungstransport
Physik	Optik	Absorption von Licht
Fächerverknüpfung	Astro-Ma	Exponentialfunktion, Sekantenlängen



Abbildung 1: Die oberen Schichten der Erdatmosphäre und der Mond.
Bild erstellt am 20. Juli 2006.
© courtesy of Image Earth Sciences and Image Analysis Laboratory,
NASA Johnson Space Center.
Photo ID: ISS013-E-54329.

Aussagen über die Atmosphäre eines Planeten zu erhalten ist nicht einfach. Die Atmosphäre ist meist eine dünne Schicht im Vergleich zum gesamten Planeten. Bei der Erde zum Beispiel beträgt der Radius etwa mehr als 6300 km, während der größte Teil der Atmosphäre dünner ist als 100 Kilometer. In der Erdatmosphäre nehmen der Druck und die Teilchendichte (die Anzahl der Teilchen pro Kubikzentimeter) mit zunehmender Höhe stark ab. Geht man 16 Kilometer höher, so sinken dann der Druck und die Teilchendichte auf jeweils ein Zehntel des Wertes. In größeren Höhen wird die Luft also sehr dünn. Dies ist bei allen Planeten so.

1) Wenn wir den Planeten Saturn (Radius $r = 60\,000$ km) mit einem Fernrohr von der Erde aus betrachten, wie groß erscheinen uns dann der Planet und wie dick eine Atmosphäre von 100 km? (Gib diese Größen als Winkel an.)

2) Gase in der Atmosphäre verschlucken (absorbieren) Licht von der Sonne oder von einem Stern, das durch die Atmosphäre tritt. Enthält eine Schicht n Moleküle, so wird die einfallende Intensität I_0 durch diese Schicht reduziert zu $I = I_0 \cdot \exp(-k \cdot n)$. k ist hier der sogenannte Absorptionskoeffizient. Wie viele Moleküle benötigt man, um die Intensität zu halbieren, wenn $k = 10^{-21}$?

3) Wenn man beobachtet, wie ein Planet sich vor einem Stern vorbei bewegt, kann man etwas über die Atmosphäre des Planeten erfahren. Kurz bevor der Stern hinter dem Planeten verschwindet, dringt sein Licht durch die Atmosphäre des Planeten. Dabei wird das Licht durch die Moleküle in der Atmosphäre zum Teil absorbiert. Aus dieser Absorption kann man auf die Anzahl der Moleküle längs des Lichtstrahls (Säulendichte) schließen. Je näher der Lichtweg dabei am Planeten vorbei geht, desto tiefere Schichten seiner Atmosphäre erreichen wir dabei.

Um dieses Verfahren zu verstehen, führen wir eine Beispielrechnung durch:

Wir nehmen an, dass wir die Atmosphäre eines Planeten mit dem Radius $r = 6000$ km durch fünf

übereinander liegende Schichten beschreiben können. Jede dieser Schichten soll 16 km dick sein. Um die Rechnung zu vereinfachen, nehmen wir an, dass innerhalb jeder Schicht die Teilchendichte und die Konzentration der Teilchen überall gleich sind. Eine Ozon-Konzentration von 10^{-7} an einer Stelle bedeutet, dass dort ein Zehnmillionstel aller Moleküle Ozonmoleküle sind.

<i>Schicht Nr.</i>	<i>Minimale Höhe</i>	<i>Teilchendichte</i>	<i>Ozon-Konzentration</i>
1	0 km	10^{19} pro cm^3	10^{-7}
2	16 km	10^{18} pro cm^3	10^{-7}
3	32 km	10^{17} pro cm^3	10^{-8}
4	48 km	10^{16} pro cm^3	10^{-8}
5	64 km	10^{15} pro cm^3	10^{-8}

Berechne, welchen Weg ein Lichtstrahl in jeder dieser Atmosphärenschichten zurücklegt, wenn sein kleinster Abstand zur Planetenoberfläche (Tangentenhöhe) 0 km, 16 km, 32 km, 48 km oder 64 km beträgt.

4) Wie viele Teilchen in der Atmosphäre erfasst auf diesem Weg jeweils ein Lichtstrahlenbündel mit einem Durchmesser von 1 cm^2 ? Wie viele Ozon-Moleküle würde dieses Bündel jeweils erfassen?

5) Bei einer Messung erhält man für jeden Lichtweg die Absorption durch alle Gasmoleküle auf diesem Lichtweg. Man schaut also lange Strecken durch verschiedene Atmosphärenschichten hintereinander. Wie kann man daraus die Teilchendichten in jeder Schicht bestimmen?

6) Am einfachsten ist es, wenn der Planet sich vor einem weit entfernten hellen Fixstern vorbei bewegt. Der Planet und seine Atmosphäre bedecken dann kurzfristig den Stern. Wie lange dauert eine solche Bedeckung durch den Kleinplaneten Pluto? Wie viel Zeit hätte man dabei zur Beobachtung der Atmosphäre? (Pluto hat einen Bahnradius von 5,9 Milliarden km und eine Umlaufdauer von 247,7 Jahren).

7) Die Raumsonde Cassini umkreist den Jupiter und beobachtet dabei unter anderem, wie der Planet helle Sterne verdeckt. Wie dünn könnten Atmosphärenschichten Jupiters sein, die man auf diese Weise untersuchen kann?

8) Es wurden einige Erdsatelliten gestartet, mit denen man Konzentrationen von Gasen in der Atmosphäre der Erde gemessen hat. Sie betrachteten das Sonnenlicht, wie es von Gasen in der Atmosphäre abgeschwächt wurde. Ein solcher Satellit umkreist die Erde. An welchen Stellen seiner Bahn muss er dann messen und wie?

9) Wann erleben wir, dass die Strahlung unserer Sonne einen kurzen Weg durch unsere Atmosphäre zurücklegt, und wann erleben wir einen langen Weg? Welchen Unterschied nehmen wir dabei wahr? Welche Folge hat dies bei einer Mondfinsternis, wenn Sonnenlicht nicht mehr direkt zum Mond gelangt, sondern nur noch Licht, das durch die Atmosphäre der Erde gegangen ist?

10) Man kann den Ozongehalt der Erdatmosphäre auch dadurch messen, dass man vom Boden aus direkt zur Sonne hochsieht und die Absorption der Ultraviolettstrahlung der Sonne durch die Ozon-Moleküle bestimmt (Dobson-Verfahren). Welchen Weg legt das Licht in diesem Fall durch die Atmosphäre zurück und wie viele Ozon-Moleküle würde ein Lichtstrahl von 1 cm^2 Querschnittsfläche erfassen? Verwende für diese Rechnungen die Angaben zu Aufgabe 1. Welche Vorteile dem gegenüber hat das Verfahren, das wir in den vorherigen Aufgaben betrachtet haben?