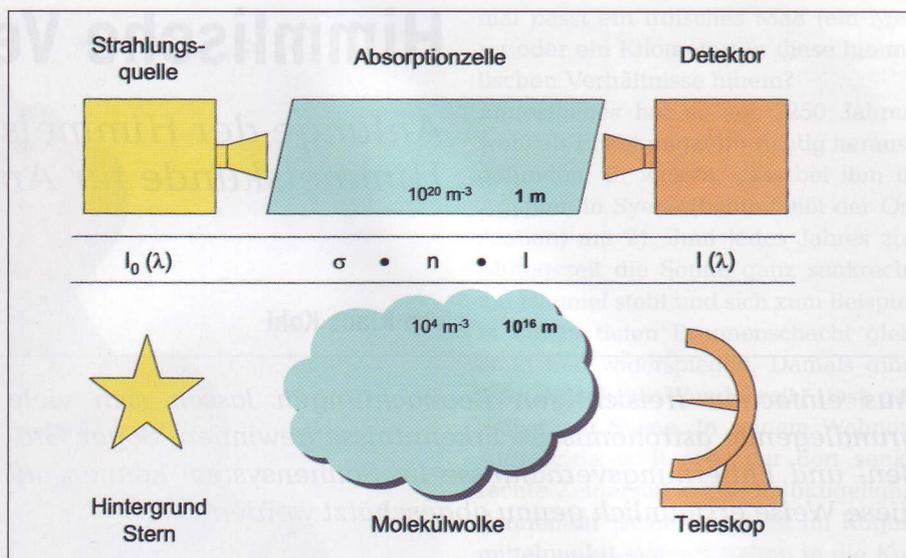


ne Molekülwolke durch einen Hintergrundstern beleuchtet. Das Licht der Intensität $I_0(\lambda)$ bei einer bestimmten Wellenlänge λ wird durch Absorption in der Wolke auf die Intensität $I(\lambda)$ abgeschwächt. Da das Licht des Sterns nicht kollimiert ist, bezeichnet $I_0(\lambda)$ nicht die Intensität in der Wolke, sondern die Intensität am Teleskop ohne Wolke. Ebenfalls der Einfachheit halber wird die Möglichkeit der Emission in dieser astrophysikalischen Situation nicht berücksichtigt.

Diese Abschwächung hängt, wie in der Mitte der Abbildung dargestellt ist, vom Produkt der Anzahldichte n der Moleküle in der Wolke, der gesamten Absorptionslänge l (Ausdehnung der Wolke) und vom so genannten Absorptionsquerschnitt σ , also dem Grad der Absorption des bestimmten Moleküls, ab. (Hier ist der Einfachheit halber von Molekülen die Rede. Es sind meistens Moleküle, Atome und Ionen gleichermaßen gemeint.)

Im oberen Teil von Bild 4 ist das Laborexperiment skizziert. Die Photonen einer Strahlungsquelle der Intensität $I_0(\lambda)$ werden durch die Absorption in einer Zelle auf die Intensität $I(\lambda)$ reduziert und treffen auf einen geeigneten Detektor. Um unerwünschte Druckeffekte (z. B. Druckverbreiterung der Absorptionslinie) in einem solchen Experiment zu vermeiden, ist der Druck in der Zelle wesentlich niedriger als in der Erdatmosphäre. Typisch sind Drücke kleiner als 1 Pa ($\approx 10^{-5}$ atm $\approx 10^{-2}$ mbar). Dieser Druck entspricht einer Teilchenzahldichte von $n \approx 10^{20}$ Molekülen pro m^3 . Bei einer gebräuchlichen Zellenlänge von $l = 1$ m ergibt sich eine sogenannte Säulendichte von $n \cdot l = 10^{20}$ Molekülen/ m^2 . Diesen Wert kann man nun mit den Bedingungen für die Molekülwolke vergleichen. Für einen Wolkendurchmesser von einem Lichtjahr (entsprechend $\approx 10^{16}$ m) wird die gleiche Säulendichte bei einer Dichte von 10^4 Molekülen pro m^3 erreicht (siehe Bild 4). Diese Situation entspricht z. B. der des CO-Moleküls in einer diffusen Molekülwolke. Es sind also nicht nur die „Aufbauten“ in Labor und Weltall vergleichbar, sondern unter bestimmten Bedingungen auch die Ergebnisse der „Experimente“.

Durch den Vergleich von Labordaten mit astronomischen Beobachtungen sind inzwischen mehr als 130 Moleküle im interstellaren Raum gefunden



4 Aufbau eines Absorptionsexperiments im Labor und im Weltall.

worden [4]. Die meisten Moleküle sind durch Anregung der reinen Rotationsbewegung identifiziert worden. Die charakteristischen Linien im cm-, mm- und für leichte Moleküle wie Wasser auch zu kürzeren Wellenlängen sind im Labor mit einer solchen Genauigkeit vermessen, dass sie bei entsprechenden astronomischen Beobachtungen klar identifiziert werden können. Durch einen Vergleich mit einer Atomuhr lassen sich die Frequenzen der Photonen z. T. mit einer Genauigkeit von $1:10^{11}$ vermessen.

In Tabelle 1 ist aufgeführt, welcher Spektralbereich heute zum Nachweis von Molekülen verwendet wird. Die Bedingungen im interstellaren Raum sind allerdings vielfach ganz anders als auf der Erde. Das betrifft nicht nur die Dichte der Moleküle (siehe oben) sondern auch die Temperatur, die z. T. bis auf wenige Grad Kelvin an den absoluten Nullpunkt herankommt. Lange Zeit dachte man, dass bei diesen niedrigen Temperaturen keine chemischen Reaktionen mehr stattfinden und man daher auch keine Moleküle finden sollte. Die Vielzahl der detektierten Moleküle zeigt, dass diese Vorstellung falsch ist. Um die chemischen Prozesse, die zur Bildung und Zerstörung von Molekülen führen, verstehen zu können, werden zahlreiche Laborexperimente durchgeführt, in denen man chemische Reaktionen unter den Bedingungen des interstellaren Raums ablaufen lässt. Es zeigt sich, dass der Staub, dessen Existenz durch das Streuexperiment demonstriert wird, eine besondere Rolle einnimmt, da sich Atome und

Moleküle auf seiner Oberfläche treffen können und zu Reaktionen führen, die ohne den Staub nicht stattfinden. Man spricht daher auch vom Staub als heterogenem Katalysator.

Mit den hier vorgestellten einfachen Experimenten wird der Zugang zu den Fraunhofer'schen Linien und zu Laborexperimenten zur Nachstellung astronomischer Situationen hergestellt. Die hierin begründete Spektralanalyse bildet die Grundlage für die Suche nach „neuen“ Molekülen im Weltall oder auch der Nutzung der Spektroskopie zur Analyse der physikalischen Eigenschaften wie etwa der Temperatur eines astronomischen Objekts. Das Interesse am Verständnis der interstellaren Physik und Chemie kann auf diese Weise mit einfachen Mitteln geweckt werden.

Hinweise und Literatur:

- [1] 1987 brachte die Deutsche Bundespost eine Briefmarke mit dem Sonnenspektrum und den dunklen Linien nach der Arbeit von Fraunhofer heraus. <http://www.jvfg-cham.de/jvfg/schule/namensgeber/index.php?navid=35>
- [2] Siehe auch: Hennig, J.: Der Spektralapparat Kirchhoffs und Bunsens. GNT-Verlag, Deutsches Museum. <http://www.deutsches-museum.de/bildung/veroeff/img/spektral.pdf>
- [3] Feitzinger, J. V.: Terrestrische und Extraterrestrische Astronomie. In: ASTRONOMIE + RAUMFAHRT im Unterricht, 2006, Heft 3
- [4] Eine vollständige Liste dieser Moleküle befindet sich auf der Internetseite der Kölner Datenbank für Molekülspektroskopie. http://www.ph1.uni-koeln.de/vorhersagen/molecules/main_molecules.html

**Prof. Dr. Stephan Schlemmer
Dr. Rolf Berger**
Universität zu Köln
I. Physikalisches Institut
Zülpicher Str. 77
50937 Köln