

Fachgruppe Physik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Protokoll zu

# Versuch E202 - Das $NH_3$ Inversionspektrum

Fortgeschrittenen Praktikum II  
Sommersemester 1999

Von  
Christian Funke, Torge Szczepanek  
Semesterzahl: 8  
Hauptfach: Physik

Assistent : H. Brunhoeber

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Aufbau</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Versuchsdurchführung und Auswertung</b>	<b>5</b>
3.1	Bestimmung des Oszillator-Abstimmereiches . . . . .	5
3.2	Bestimmung der Absorptionslinien . . . . .	6
3.3	Ausmessung der Hyperfeinstruktur . . . . .	7
3.4	Druckverbreiterung der 3/3 Linie . . . . .	9
3.5	Bilder der Linien . . . . .	10

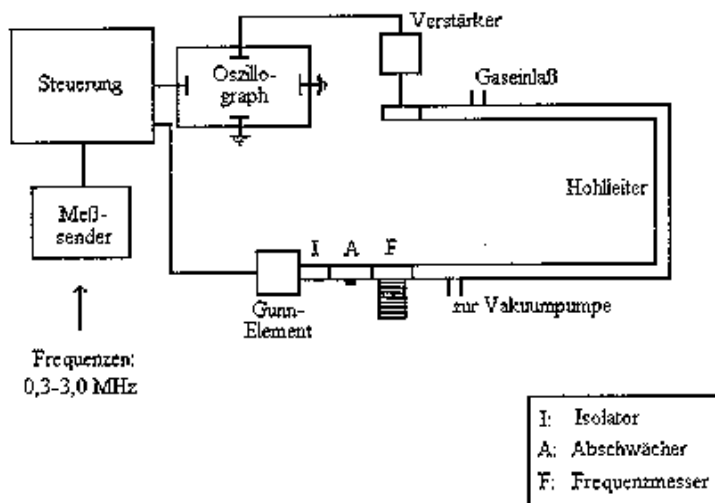
# 1 Theorie

Die sparen wir uns.....

## 2 Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in der nachfolgenden Abbildung schematisch dargestellt. Zur Erzeugung der Mikrowellen verwenden wir eine Gunnediode deren Frequenz sich mit Hilfe des Varaktors abstimmen lässt. Hinter der Gunnediode befindet sich ein Isolator ein Abschwächer und ein Frequenzmesser. Der Isolator wird verwendet, um die Gunnediode vor reflektierten Mikrowellen zu schützen. Die Mikrowellen können den Isolator nur in einer Richtung passieren. Sie wirkt wie eine Diode fuer Mikrowellen. Der Abschwächer wird verwendet, um die Stärke der Mikrowellen im nachfolgenden Hohlleitersystem zu regulieren. Der Abschwächer besteht aus einer Folie, die mit Hilfe einer Schraube stückweise in den Rechteckhohlleiter eingebracht werden kann.

Mit dem Frequenzmesser kann die Frequenz der Mikrowellen bestimmt werden. Dieses geschieht durch Anpassung des Hohlleitervolumens mit Hilfe einer Schraube. Sobald eine stehende Welle entsteht, wird das auf dem Oszilloskop detektierte Signal minimal.



An den Frequenzmesser schliesst sich das Hohlleitersystem an, in das Ammoniak eingelassen werden kann. Neben dem Gaseinlass gibt es einen Anschluss zu einer Vakuumpumpe. In dem man die Stärke des Gaseinflusses kontrolliert, kann man den Druck des Ammoniakgases in dem Hohlleitersystem kontrollieren. Ein Druckmesser befindet sich direkt neben dem Einlass. Der Bereich des Hohlleiters in dem sich das Ammoniak befindet ist durch zwei Kaptonfolien von dem Rest des Systems abgeschirmt. Dadurch wird der Detektor und das Gunnediodensystem vor dem Ammoniak geschützt.

Direkt hinter dem Gaseinlass befindet sich der Detektor, der über einen Verstärker an die Y-Achse des Oszilloskops angeschlossen ist. Die X-Achse des Oszilloskops wird über einen 50 Hz Sägezahn gesteuert, der auch den Varaktor steuert. Somit erhält man auf dem Oszilloskop einen Plot von detektierter Mikrowellenleistung gegen Frequenz. Wird bei einer bestimmten Frequenz Leistung aus dem Hohlleitersystem entzogen, so entsteht eine Absorptionslinie auf dem Oszi.

### 3 Versuchsdurchführung und Auswertung

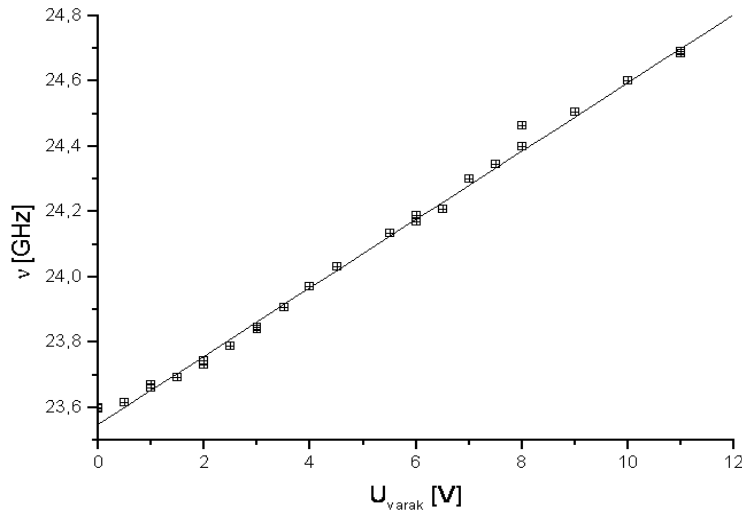
#### 3.1 Bestimmung des Oszillator-Abstimmereiches

Nachdem der Assistent alle Komponenten der Versuchsanordnung in Betrieb genommen hat, wollten wir zunächst feststellen, in welchem Frequenzbereich wir den Gunnoszillator abstimmen können. Dazu benötigen wir noch kein Ammoniak im Hohlleitersystem.

Wir variierten nun die Varaktorspannung von 0 bis ca. 11V, um eine Eichfunktion für den Frequenzgang unserer Gunndiode zu bekommen. Mit Hilfe des Frequenzmessers konnten wir nun die von der Gunndiode abgestrahlte Frequenz bestimmen, indem wir den Frequenzmesser so lange verstellt haben, bis wir auf dem Oszilloskop eine Absorption der Mikrowellenleistung beobachten konnten. Wir haben die Messung insgesamt zweimal durchgeführt: Einmal haben wir beginnend mit 0V angefangen und bis 11V heraufgemessen und danach haben wir von 11V sukzessive bis 0V heruntergemessen. Damit erhielten wir folgende Werte:

$U_{Var}$	$\nu_{rauf}$	$\nu_{runter}$
0	23.597	23.6
0.5	23.614	-
1.0	23.66	23.67
1.5	23.691	-
2.0	23.73	23.745
2.5	23.788	-
3.0	23.847	23.84
3.5	23.905	-
4.0	23.97	23.97
4.5	24.03	24.03
5.5	24.135	-
6.0	24.168	24.19
6.5	24.209	-
7.0	24.299	24.3
7.5	24.345	-
8.0	24.4	24.465
9.0	24.505	24.505
10.0	24.6	24.6
11.0	24.69	24.685

Damit erhalten wir das folgende Diagramm



In das Diagramm wurde außerdem noch eine Ausgleichsgerade eingezeichnet, da der Verlauf fast linear ist, auch wenn nach der Diplomarbeit von J. Bednarz keine Linearität gegeben sein soll. Wir verwenden zur Frequenzbestimmung die Ausgleichsgerade, die wir zu

$$y = (0,10466 \pm 0,00135) \cdot x + (23,54999 \pm 0,00788)$$

bestimmt haben.

### 3.2 Bestimmung der Absorptionslinien

Nach erfolgter Eichung und der Herstellung einer Eichbeziehung zwischen der Varaktorspannung und der abgestrahlten Frequenz unseres Oszillators können wir nun die Absorptionslinien des Ammoniak-Moleküls vermessen. Zunächst mußten wir dazu in das Hohlleitersystem Ammoniak einlassen und versuchen einen konstanten Druck des Ammoniakgases in dem Hohlleitersystem zu erzeugen. Dies mußte allein über die Kontrolle des Zuflusses von Ammoniak geschehen, da es an der Vakuumpumpe keinen Regelmechanismus für die Stärke des Abpumpens gab. Der Druck während unseren weiteren Messungen lag bei ca.  $4 \cdot 10^{-2}$  Torr.

Um nun die Absorptionslinien aufzufinden stellten wir die Varaktorspannung grob so ein, das die Gunnediode Mikrowellen der Frequenz abstrahlte, bei denen wir Absorptionslinien erwarten (Literatur). Bei den starken Linien erhielten wir auf diese Weise meist schon eine Absorptionslinie. Daraufhin haben wir dann die verschiedenen Parameter der Apparatur so verändert, das wir ein möglichst gutes Bild auf dem Oszilloskop erhielten. Als wichtigster Parameter ist hier die Einstellung des Abschwächers direkt hinter der Gunnediode zu nennen. Ist dieser nicht korrekt eingestellt, so kann keine Absorptionslinie beobachtet werden. Als optimale Einstellung für den Abschwächer erhielten wir ca. 4-7 Drehungen

vom Anschlag weg. Ein weiterer wichtiger Parameter war die Schraube am Detektor, mit der man die Position des Detektors in der longitudinalen Richtung des Hohlleiters variieren konnte. Als für uns ideale Einstellung erwies sich eine Einstellung von ca. einer halben Umdrehung vom Anschlag entfernt. Dieser Parameter hat entscheidenden Einfluß auf das Zustandekommen einer Absorptionslinie auf dem Oszilloskop. Mit den beiden Schrauben am Hohlleiter (mit denen das Hohlleitervolumen verändert werden konnte), konnten man die Symmetrie der Linie herstellen, bzw. den linken oder den rechten Bereich der Linie vergrößert darstellen.

Nachdem wir die Varaktorspannung auf die Werte voreingestellt haben, bei denen wir Absorptionslinien erwarteten, haben wir versucht die anderen experimentellen Parameter so anzupassen, das wir eine Absorptionslinie erhielten. Das ist uns bei insgesamt 6 Linien gelungen. Bei allen diesen Linien haben wir jeweils zusätzlich noch die Wellenlänge mit Hilfe des Wellenlängenmessers bestimmt. Wir erhielten insgesamt folgende Werte:

Peak (J/K)	U[V]	$\nu_{gem}$ [GHz]	$\Delta\nu_{gem}$	$\nu_{eich}$	$\Delta\nu_{eich}$	$\nu_{tab}$ [GHz]
2/2	1.73	23.71	0.03	23.731	0.040	23.72
16/14 ?	2.12	23.748	0.03	23.771	0.040	23.78
3/3	3.55	23.917	0.03	23.921	0.040	23.87
4/4	5.91	24.087	0.03	24.168	0.041	24.14
10/9 ?	6.57	24.15	0.03	24.238	0.041	24.21
5/5	9.92	24.247	0.03	24.588	0.041	24.53

Es zeigt sich das unsere Werte, die wir über die Eichgerade bestimmt haben, meist ein wenig zu hoch liegen, wobei hingegen die Werte, die wir direkt mit dem Wellenlängenmesser gemessen haben ein wenig zu niedrig lagen. Ganz sicher konnten wir die starken Linien 2/2, 3/3, 4/4 und 5/5 zuordnen. Bei der 16/14 und der 10/9 Linie sind wir uns nicht sehr sicher, das wir wirklich die richtige Linien identifiziert haben. Vor allem bei der 16/14 Linie scheint es nicht sehr glaubwürdig zu sein, da sie im Vergleich zum Beispiel zur 2/2 Linie eine um ca. 1700 mal schwächere Intensität hat. Den Fehler der Frequenzbestimmung legten wir auf 30 MHz fest. Den Fehler für die Bestimmung der Frequenz aus der Eichgeraden berechneten wir aus dem Fehler der von uns bestimmten Eichgeraden.

### 3.3 Ausmessung der Hyperfeinstruktur

Im letzten Teil des Versuches sollten die Satelliten der Absorptionslinien aufgesucht werden und vermessen werden. Durch Bestimmung des Frequenzabstandes von Satelliten und Hauptlinie läßt sich dann die Quadrupolkonstante der Hyperfeinstruktur berechnen. Um den Frequenzabstand zu bestimmen, wird mit Hilfe des Meßsenders eine Frequenzmodulation der Oszillatorfrequenz mit  $\nu'$  durchgeführt. Die Frequenzmodulation erzeugt neben der Hauptfrequenz der Mikrowelle weitere Nebenfrequenzen, die zur Hauptfrequenz gerade den Abstand  $\nu'$  haben. Diese Nebenfrequenzen erzeugen auf dem Oszilloskop ebenfalls Absorptionspeaks, mit denen man dann die Satelliten vermessen kann.

Der Ausgang des Meßsenders wird mit dem Eingang der Varaktorsteuerung verbunden. Durch Variation der Senderleistung kann man den Seitenpeak erhöhen und durch Veränderung der Senderfrequenz verschiebt man den Peak. Hat man

Seitenband und Satellitenpeak zur Deckung gebracht, so kann man die Frequenz am Sender ablesen. Da dieser Vorgang durch die starke Flankenbildung beeinträchtigt wurde, mußten wir mit viel Fingerspitzengefühl die Einstellungen des Versuches regelmäßig verbessern. Zuerst suchten wir die Satelliten bei der 3/3 Linie auf. Dies waren die einzigen Satelliten, die wir beobachten konnten. Für jede Linie haben wir jeweils links und rechts von der Hauptlinie die Frequenzen für den Abstand der Satelliten von Hauptlinie bestimmt. Dabei erhielten wir folgende Werte:

Für die 3/3 Linie:

$\Delta F$	$\nu_{gem,links}$ [MHz]										$\bar{\nu}_{links}$ [MHz]	$\Delta\bar{\nu}$ [MHz]
4-3	1.61	1.601	1.659	1.687	1.629	1.649	1.692	1.689	1.674	1.658	1.655	0.10
3-2	2.31	2.31	2.349	2.34	2.27	2.312	2.284	2.332	2.343	2.299	2.315	0.33

$\Delta F$	$\nu_{gem,rechts}$ [MHz]										$\bar{\nu}_{rechts}$ [MHz]	$\Delta\bar{\nu}$ [MHz]
4-3	1.60	1.654	1.656	1.677	1.643	1.636	1.695	1.616	1.67	1.623	1.647	0.008
3-2	2.306	2.308	2.330	2.386	2.315	2.374	2.371	2.359	2.337	2.286	2.337	0.10

Damit erhalten wir mit

$$\bar{\nu}_{ges} = \frac{1}{2} (\bar{\nu}_{rechts} + \bar{\nu}_{links})$$

und

$$eqQ = - \frac{\bar{\nu}_{ges}}{\left[ \frac{3K^2}{J(J+1)} \right] \cdot [f(I, J, F+1) - f(I, J, F)]}$$

mit der Casimirfunktion

$$f(J, I, F) = \frac{\frac{3}{4}C(C+1) - I(I+1)J(J+1)}{2I(2I-1)(2J-1)(2J+3)}$$

und

$$C = F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)$$

das Ergebnis

$\Delta F$	$\bar{\nu}_{ges}$ [MHz]	$\Delta\bar{\nu}$ [MHz]	$eqQ$ [MHz]	$\Delta eqQ$	$eqQ_{tab}$ [MHz]
4-3 (3/3)	1.651	0.009	3.9624	0.992	4.087
3-2 (3/3)	2.326	0.215	4.135	0.921	4.087

Die theoretischen Werte wurden berechnet mit der Formel:

$$eqQ = (eqQ)_0 + A [J(J+1) - K^2] + BK^2$$

wobei

$$(eqQ)_0 = -4.08965 MHz$$



$$A = 1.048 \cdot 10^{-3} \text{ MHz}$$

und

$$B = -0.471 \cdot 10^{-3} \text{ MHz}$$

ist.

Die Literaturwerte liegen innerhalb der Fehlergrenzen unsere Meßwerte.

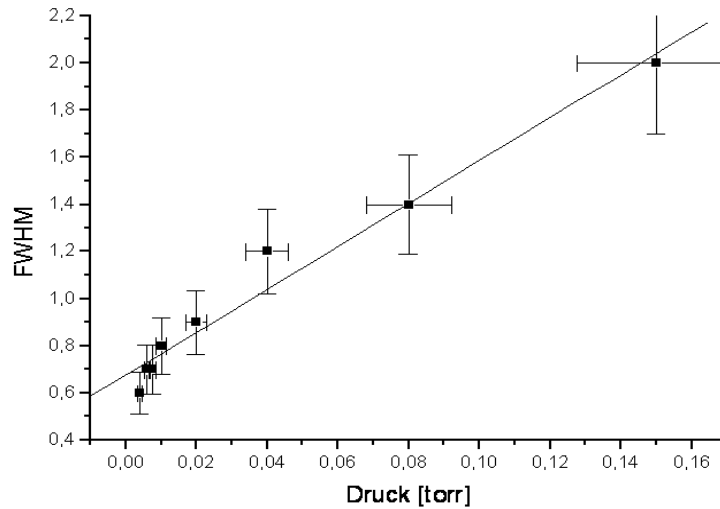
### 3.4 Druckverbreiterung der 3/3 Linie

Im letzten Versuchsteil sollte noch die Druckabhängigkeit der Linienbreite der 3/3 Linie vermessen werden. Hierzu wurden die Parameter so verändert, daß wir ein schönes Bild der Linien erhielten und anschließend den Druck des Ammoniak im Hohlleitersystem variierten. Wir konnten den Druck nur für kürzere Zeit jeweils konstant halten. Besonders schwierig war dies bei höheren Drücken. Wir gingen folgendermaßen vor: War ein Druck einigermaßen konstant eingestellt, so verschoben wir das Bild auf dem Osillographen so, daß das von uns geschätzte Maximum des Signals an der Stelle des Dips auf einer Linie lag. Anschließend zählten wir die Kästchen ab zwischen geschätztem Maximum und Minimum des Dips und schätzten dann die Halbwertsbreite ab. Da der Druck nicht sonderlich konstant gehalten werden konnte ist die Meßmethode recht ungenau, so daß man einen großen Fehler annehmen muß.

Die von uns gemessenen Werte sind in der Tabelle zusammengestellt:

p[Torr]	FWHM
$4 \cdot 10^{-3}$	0.6
$6 \cdot 10^{-3}$	0.7
$7.5 \cdot 10^{-3}$	0.7
$10^{-2}$	0.8
$2 \cdot 10^{-2}$	0.9
$4 \cdot 10^{-2}$	1.2
$8 \cdot 10^{-2}$	1.4
$1.5 \cdot 10^{-1}$	2

Damit ergibt sich folgender Graph:

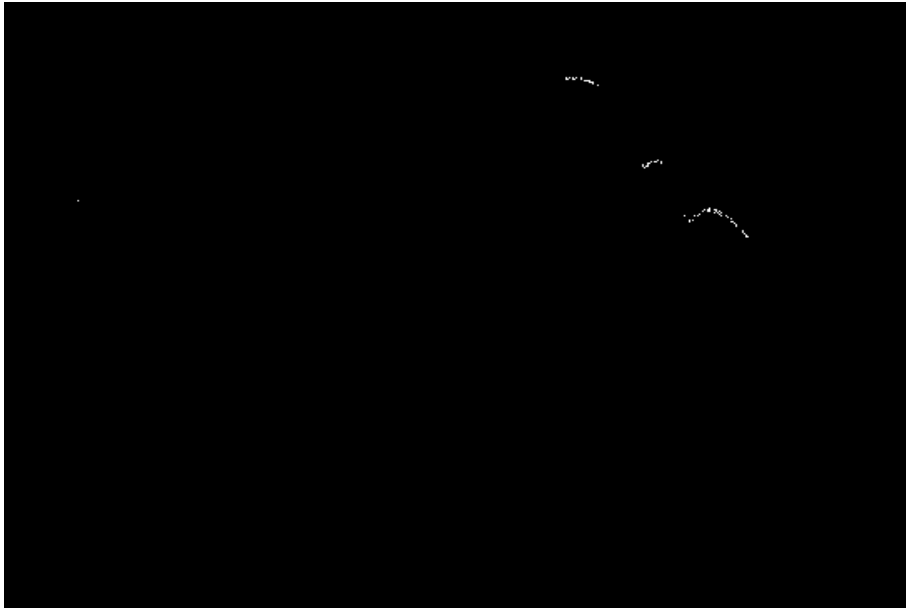


Man erkennt zumindest halbwegs den linearen Zusammenhang zwischen Halbwertsbreite und Druck in der Apparatur, der durch die Theorie bei konstanter Temperatur vorausgesagt wird. Wir haben im Diagramm eine lineare Regression durchgeführt, um dies zu verdeutlichen. Wie man sieht liegen die meisten Werte innerhalb der Fehlergrenzen auf der Geraden. Für die Fehler haben wir jeweils einen Fehler von ca. 15% abgeschätzt. Damit ist der lineare Zusammenhang zwischen Druck- und Linienbreite gezeigt.

### 3.5 Bilder der Linien

Es wurden aus den Meßdaten noch zwei Bilder von den Absorptionslinien und den Satellitenlinien aufgenommen.

Hier für die 4/4 Linie:



Und hier für die 3/3 Linie:

