



# Geschwindigkeitskontrolle auf der Milchstraße

Mit 800.000 km/h ums galaktische Zentrum

## Wie dreht sich die Milchstraße um ihre eigene Achse?

Mit rund 800.000 km/h umrundet unser Sonnensystem das Zentrum der Milchstraße. Doch die Geschwindigkeit der Sterne ist nicht überall gleich, sondern hängt von deren Entfernung zum galaktischen Zentrum ab. In diesem Experiment nutzt Du die 21-cm Linie des neutralen atomaren Wasserstoffs, um die Rotationsgeschwindigkeit und Struktur der Milchstraße zu vermessen.

---

### In Kürze



**Zeitraumen:** ca. 45 min.



**Zielgruppe:** Besonders empfohlen für die Unter- und Mittelstufe.



**Benötigte Materialien:**

- ein digitales Endgerät zum Arbeiten mit Internetzugang (PC, Mac, Laptop, Tablet, etc.)
- *optional:* Stift und Papier

---

### Autor\*innen

Autor dieses Forschungsauftrags ist P.D. Dr. Jürgen Kerp vom Argelander-Institut für Astronomie der Universität Bonn. Wenn Du mehr über astrophysikalische Forschung erfahren möchtest, kannst Du über diesen Link die Internetseite des Argelander-Instituts für Astronomie besuchen:  
<https://www.astro.uni-bonn.de>.

### Hinweis

Wir weisen darauf hin, dass die Durchführung der Forschungsaufträge einschließlich der damit verbundenen Risiken in eigener Verantwortung erfolgt. Die Universität Bonn übernimmt keine Haftung für eventuell im Rahmen der Durchführung entstehende Schäden. Minderjährige sollten die Experimente nur nach Rücksprache mit ihren Erziehungsberechtigten oder unter Aufsicht einer Lehrkraft durchführen.



## Einleitung

Mit rund 800.000 km/h umrundet unser Sonnensystem das Zentrum der Milchstraße. Doch die Geschwindigkeit der Sterne ist nicht überall gleich, sondern hängt von deren Entfernung zum galaktischen Zentrum ab. In diesem Experiment nutzt Du die 21-cm Linie des neutralen atomaren Wasserstoffs, um die Rotationsgeschwindigkeit und Struktur der Milchstraße zu vermessen.

### Durch Wände blicken

Das leuchtende Band der Milchstraße dominiert den dunklen Sternenhimmel. Dass dieses diffuse Licht durch viele Milliarden Sterne in sehr großen Entfernungen erzeugt wird, ist erst seit rund 100 Jahren bekannt. Dieses sichtbare Licht erlaubt es uns jedoch nicht, die Struktur und Bewegung der Milchstraße zu erforschen. Dies liegt daran, dass bereits sehr geringe Mengen an sogenanntem interstellarem Staub es stark schwächen. Im Radiobereich bei Wellenlängen, von einigen Millimetern bis hin zu Metern, ist dieser negative Einfluss des interstellaren Staubs jedoch zu vernachlässigen. Die Wellenlängen sind im Radiobereich viel größer als die Staubkörner und durchdringen sogar Materie. Jede\*r Nutzer\*in eines WLAN weiß dies. Denn das Signal des Routers durchdringt Wände und Decken und versorgt jeden Winkel des Hauses mit einer Internetverbindung. Der Router nutzt dazu Radiowellen.

### Die 21-cm Linie

Das mit deutlichem Abstand häufigste Element im Kosmos, der atomare Wasserstoff, erzeugt in seiner neutralen Form (Proton und Elektron sind aneinandergelockt) im kalten interstellaren Gas die berühmte 21-cm Linie. 21 Zentimeter beträgt die Wellenlänge des Wasserstoffs, was der Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Wellenbergen ist. Diese Strahlung durchdringt den dichtesten Staub und wurde erstmals in den 1950er Jahren beobachtet. Unmittelbar nach dieser wichtigen Entdeckung wurde die gesamte Milchstraße vermessen. Einen Teil dieser Pionierarbeit wiederholst Du im Rahmen dieses Experiments. Die spektralen Daten zeigen, wie sich die Milchstraße dreht. Sie zeigen des Weiteren, dass die Milchstraße in ihrem Inneren einen Balken besitzt. Außen schließen sich die Spiralarme an. Auch diese Information ist in den Spektren, die Du auswertest, enthalten.

### Die Rotationskurve

Die gemessenen Geschwindigkeiten der Sterne in Abhängigkeit vom Abstand zum galaktischen Zentrum ergeben ein Diagramm, das wir Rotationskurve nennen. Diese Messungen können darauf hinweisen, dass die Masse in Galaxien anders verteilt ist als in Planetensystemen, von denen wir mittlerweile viele tausend studieren konnten. In einem Planetensystem ist der absolut größte Anteil der Masse im Stern selbst konzentriert. Dies führt zu einer Keplerschen Rotation: innen schnell und außen immer langsamer. Doch bei Galaxien ist ein solches Geschwindigkeitsmuster nur in den seltensten Fällen zu beobachten.

### Die Sterne fahren Karussell

Stell Dir vor es ist ein wunderschöner Tag, um mit einem Karussell zu fahren. Die Sonne scheint und Du hängst unbewegt in Deinem Sitz und lässt Deine Füße baumeln. Doch sobald sich das Karussell zu drehen beginnt, wirst Du nach außen und zudem immer stärker in den Sitz gedrückt. Die Ketten spannen sich. Diese halten Dich fest auf dem Karussell. Genau wie Du im Karussell, so drehen sich auch die Sterne um das Zentrum der Milchstraße. An der Stelle von Ketten hält die Schwerkraft die Sterne auf ihrer Bahn. Die Sonne erreicht dabei eine ganz beachtliche Geschwindigkeit von rund 800.000 km/h. Doch sind alle Sterne gleich schnell unterwegs, oder sind einige schneller oder langsamer?

### Gas geben zwischen den Sternen

Um diese Frage zu beantworten, müssen wir Messungen an verschiedenen Stellen in der Milchstraße durchführen. Das ist recht einfach mit einem Radioteleskop, das die 21-cm Linie des neutralen atomaren



Wasserstoffs messen kann. Wasserstoff ist DAS Element im Universum. Alle Sterne bestehen zu 90 % aus Wasserstoff, auch unsere Sonne [1]. Etwas Wasserstoff ist aber noch nicht in den Sternen gebunden. Es befindet sich zwischen den Sternen, daher nennen wir es auch interstellares Gas (Gas zwischen den Sternen). Die Menge an interstellarem Gas ist heute immer noch so riesig, dass wir es leicht messen können. Wir interessieren uns aber nicht für die Gasmenge, sondern für die Geschwindigkeit, mit der sich das Gas gemeinsam mit den Sternen um das Zentrum der Milchstraße dreht.

### Galaktische Radarfalle

Doch wie messen wir die Geschwindigkeit mit einem Radioteleskop? Stell Dir ein hupendes Auto vor, das an Dir vorbeifährt. Was passiert? Nähert sich das Auto, so wird die Hupe lauter, aber ihr Ton auch höher. Entfernt sich das Auto wieder, so wird die Hupe leiser, ihr Klang aber auch tiefer. Die Änderung der Tonhöhe wird durch den Doppler-Effekt beschrieben. Kommt das Auto auf Dich zu, so werden die zeitlichen Abstände kürzer, mit denen die Schallwellenberge und -Täler Dein Ohr erreichen. Entfernt sich das Auto, so werden deren Abstände größer. Mit einem Radargerät misst die Polizei die Geschwindigkeit des Autos. Dazu nutzt das Radargerät auch den Doppler-Effekt. Das Radargerät macht aus der Tonhöhe also eine Geschwindigkeit. Unser Radioteleskop macht genau das Gleiche.

### Los geht's

Dein Auftrag besteht nun ganz einfach darin, herauszufinden, welche die höchste Geschwindigkeit bei einer Messung mit einem Radioteleskop ist. Dazu betrachtest Du ein sogenanntes Spektrum, das mit einem Radioteleskop gewonnen wurde. Ein Spektrum zeigt Dir, welche Geschwindigkeit wie oft gemessen wurde. Die Spektren verändern sich von Position zu Position. Das interessiert uns hier jedoch nicht. Wir konzentrieren uns allein auf die höchste positive Geschwindigkeit im Spektrum. Mit dem bloßen Auge können wir diese ziemlich gut bestimmen, da unser Auge sehr gut das Signal von dem statistischen Rauschen unterscheiden kann. Die gezeigten Spektren wurden am 2,3 m Teleskop des Astropeilers auf dem Stockert (Nähe Bad Münstereifel) aufgenommen. Du kannst das Teleskop und den Astropeiler gerne einmal besuchen [2].

### Forschungsauftrag 1: Geschwindigkeitskontrolle auf der Milchstraße

Du findest eine Reihe von Spektren am Ende dieses Forschungsauftrags. Schau Dir die einzelnen Spektren an und markiere, z.B. mit dem Cursor oder einem Stift, die Stelle mit positiver Geschwindigkeit im Spektrum, bei der das Signal kleiner wird als das Rauschen. Dieser Messwert ist die maximale Geschwindigkeit  $v_{\max}$ . Notiere diesen Messwert in **Tabelle 1** bei der entsprechenden galaktischen Länge, dem sogenannten ***l*-Wert**, dieser ist im Header der einzelnen Spektren eingebunden.

**Tabelle 1: Tabelle der höchsten Geschwindigkeiten.** Aufgenommen am Astroteiler Stockert (November 2022).

Gal. Länge $l$	$r$ [lj]	$v_{korr}$ [km/s]	$v_{max}$ [km/s]	$v$ [km/s]
0°	0	0,0		
5°	2.415	19,2		
10°	4.812	38,2		
15°	7.172	56,9		
20°	9.477	75,2		
25°	11.711	93,0		
30°	13.855	110,0		
35°	15.894	126,2		
40°	17.812	141,4		
45°	19.594	155,6		
50°	21.227	168,5		
55°	22.699	180,2		
60°	23.998	190,5		
65°	25.114	199,4		
70°	26.039	206,7		
75°	26.766	212,5		
80°	27.289	216,7		
85°	27.605	219,2		
90°	27.710	220,0		



## Forschungsauftrag 2: Rotationskurve der Milchstraße zeichnen

Für jeden  $l$ -Wert findest Du in der Tabelle den entsprechenden Wert mit dem **Abstand  $r$**  des Messpunktes vom galaktischen Zentrum in Lichtjahren. Zudem musst Du noch die abgelesene Geschwindigkeit ein bisschen korrigieren, denn unser Radioteleskop bewegt sich selbst ja auch mit der Erde und der Sonne um das Zentrum der Milchstraße. Daher müssen wir zu dem abgelesenen Wert noch den **Korrekturwert  $v_{korr}$**  addieren. Dieser Korrekturwert hängt nur von der galaktischen Länge und der Geschwindigkeit der lokalen Sonnenumgebung um das galaktische Zentrum ab:  $v_{korr} = 220 \text{ km/s} \cdot \sin l$

Trage nun auf der x-Achse den Abstand vom Zentrum und auf der y-Achse die korrigierten Geschwindigkeiten ( $v = v_{max} + v_{korr}$ ) auf, dann hast Du das Ergebnis Deines Experiments vor Augen, die Rotationskurve der Milchstraße. Nun siehst Du wie die Milchstraße sich dreht. Diskutiere Dein Ergebnis mithilfe der untenstehenden Abschlussdiskussion.

## Spektren

Die folgenden Spektren sind mit einem kleinen Radioteleskop von nur 2,3-m Durchmesser im November 2022 gewonnen worden. Selbst solch kleine Radioteleskope erlauben es, die Milchstraße als Ganzes zu erforschen. Es sind nicht immer die größten Teleskope der Welt nötig, um grundlegendes Wissen zu gewinnen.

```
0:0 GAL 0.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934
RA: 17:45:37.19 DEC: -28:56:10.2 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 10.4
N: 4096 IQ: 2867.00 VD: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Ff: N/A
```

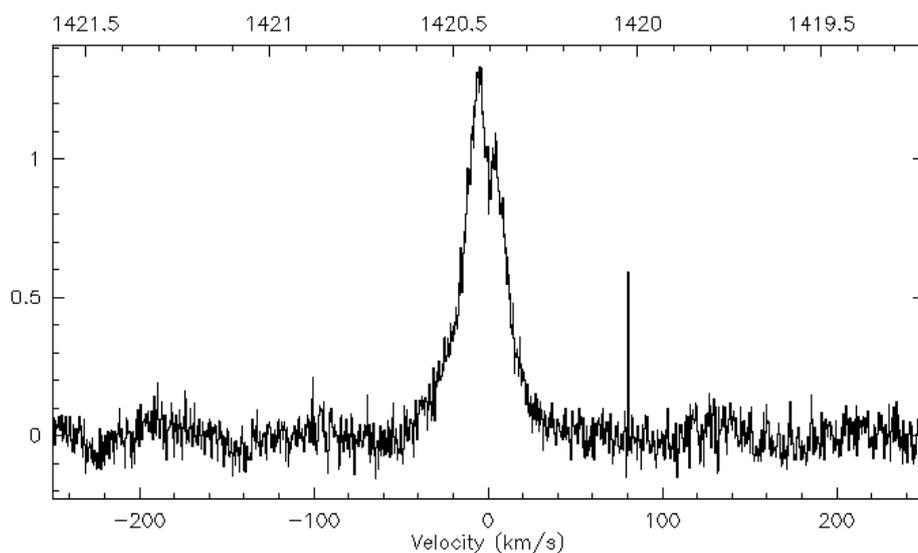
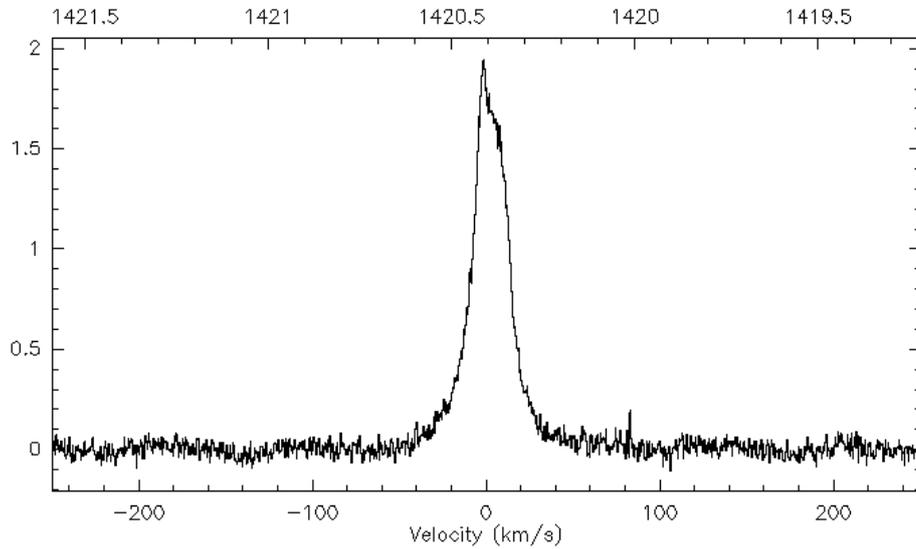


Abbildung 1: Spektrum  $0^\circ$  galaktische Länge.

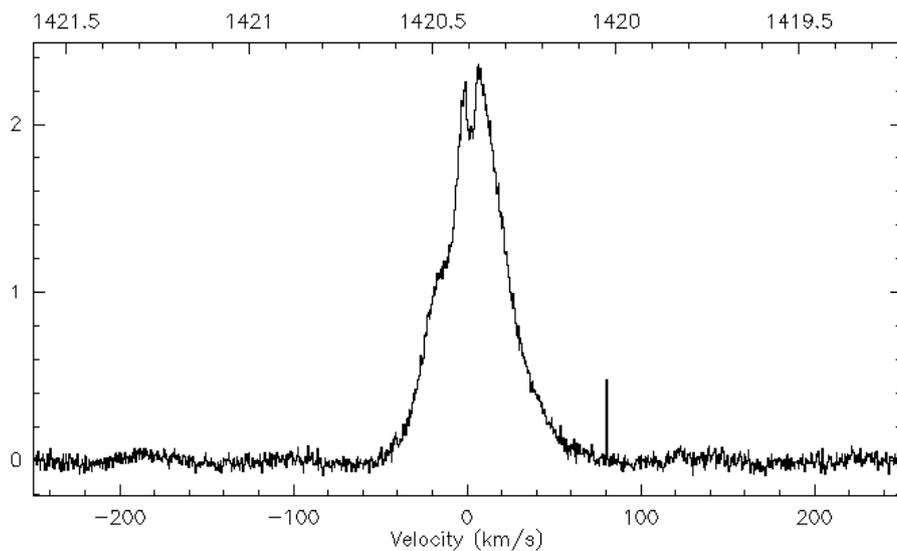


0;0 GAL 5.0 5.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 17:38:24.58 DEC: -22:03:32.6 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 17.3  
N: 4096 l0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FO: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Fi: N/A



**Abbildung 2: Spektrum 5° galaktische Länge.**

0;0 GAL 10.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 18:07:45.70 DEC: -20:17:24.0 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 19.0  
N: 4096 l0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FO: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Fi: N/A



**Abbildung 3: Spektrum 10° galaktische Länge.**



0;0 GAL 15.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 18:17:51.72 DEC: -15:54:12.0 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 23.4  
N: 4096 I0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Ff: N/A

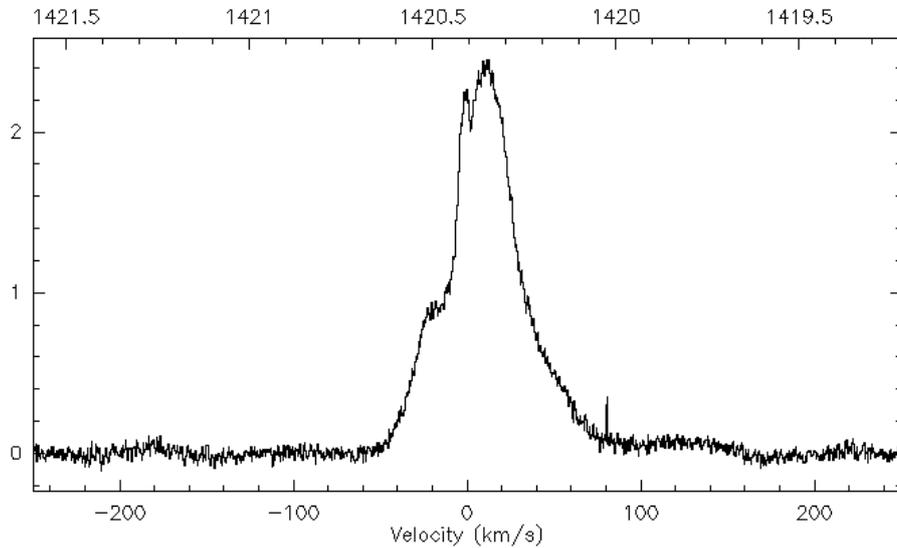


Abbildung 4: Spektrum 15° galaktische Länge.

0;0 GAL 20.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 18:27:31.75 DEC: -11:29:19.0 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 27.8  
N: 4096 I0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Ff: N/A

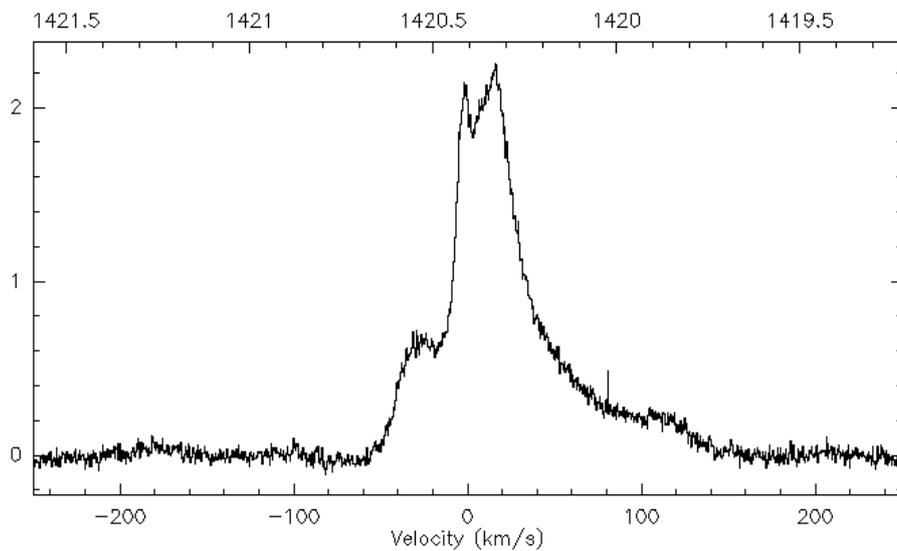


Abbildung 5: Spektrum 20° galaktische Länge.



0;0 GAL 25.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 18:36:53.82 DEC: -07:03:16.5 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 32.1  
N: 4096 I0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Ff: N/A

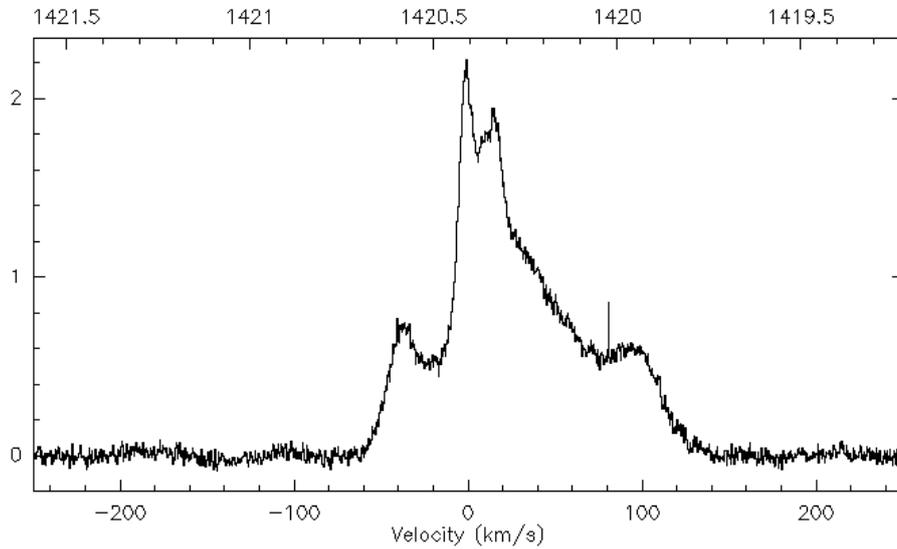


Abbildung 6: Spektrum 25° galaktische Länge.

0;0 GAL 30.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 18:46:05.19 DEC: -02:36:32.8 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 36.6  
N: 4096 I0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Ff: N/A

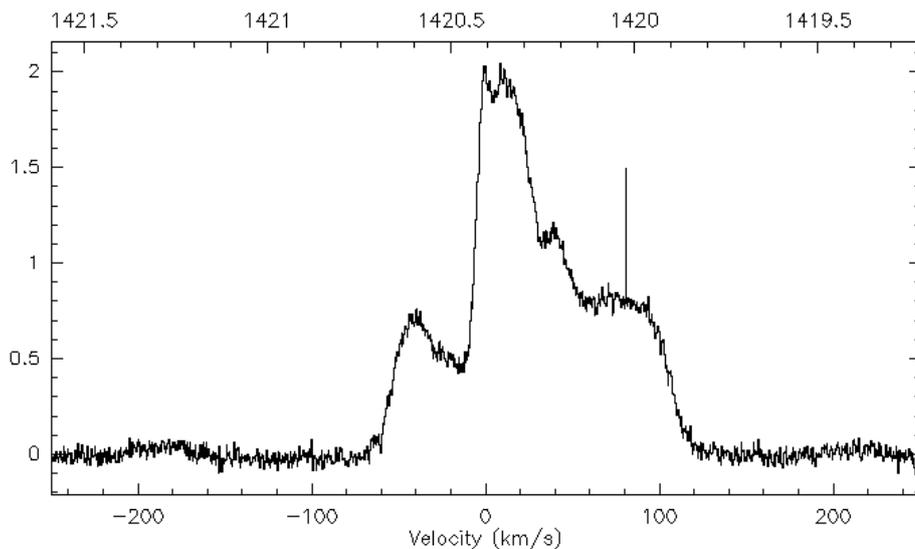


Abbildung 7: Spektrum 30° galaktische Länge.



0;0 GAL 35.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 18:55:12.67 DEC: 01:50:25.7 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 40.9  
N: 4096 I0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Ft: N/A

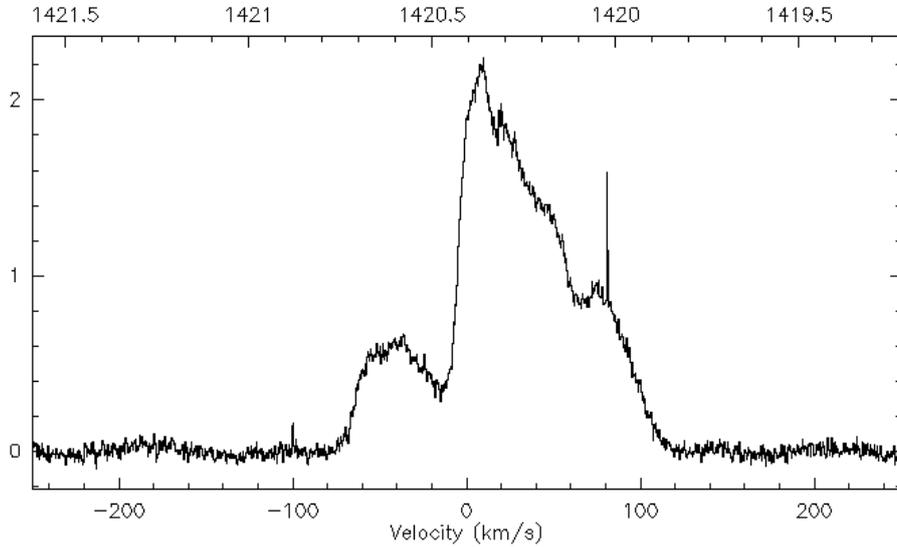


Abbildung 8: Spektrum 35° galaktische Länge.

0;0 GAL 40.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 19:04:22.89 DEC: 06:17:13.8 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 45.3  
N: 4096 I0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Ft: N/A

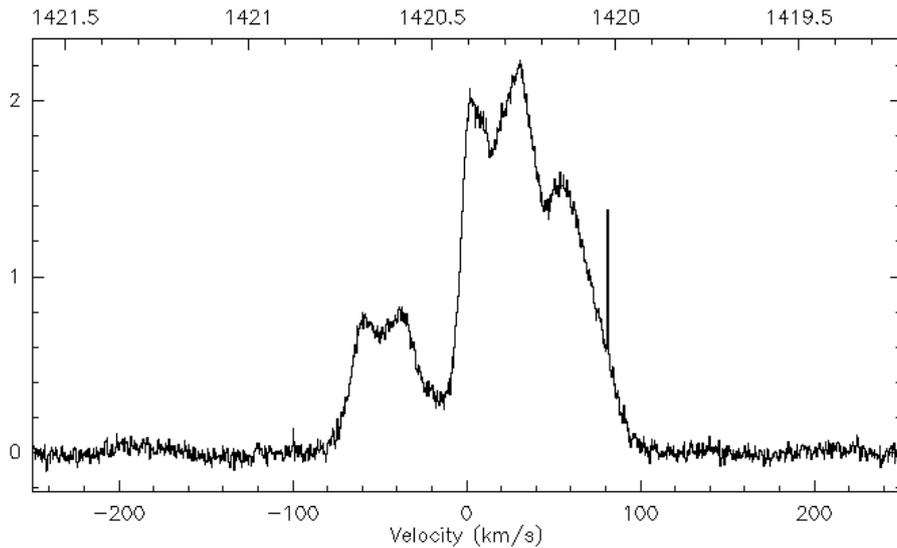


Abbildung 9: Spektrum 40° galaktische Länge.



0;0 GAL 45.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 19:13:42.61 DEC: 10:43:25.3 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 49.6  
N: 4096 IQ: 2867.00 VQ: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FO: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Fi: N/A

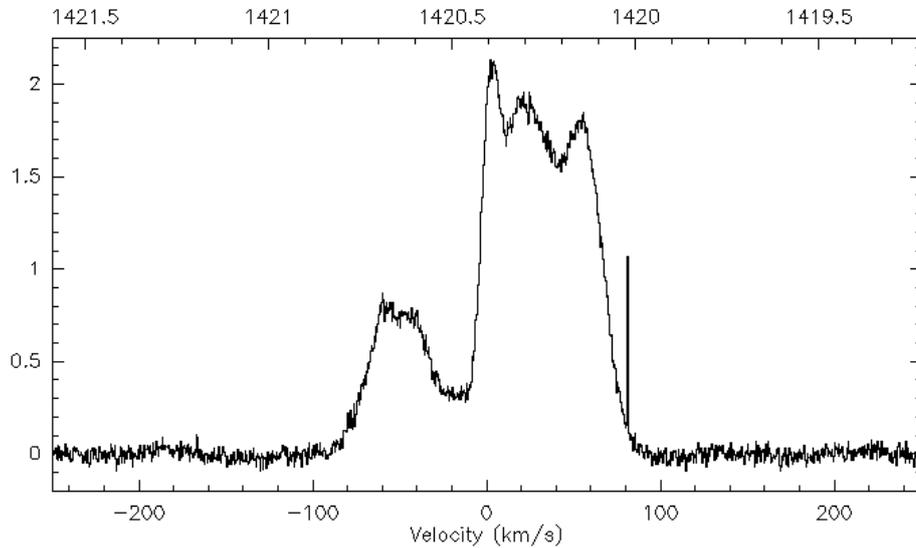


Abbildung 10: Spektrum 45° galaktische Länge.

0;0 GAL 50.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 19:23:18.99 DEC: 15:08:32.5 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 53.7  
N: 4096 IQ: 2867.00 VQ: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FO: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Fi: N/A

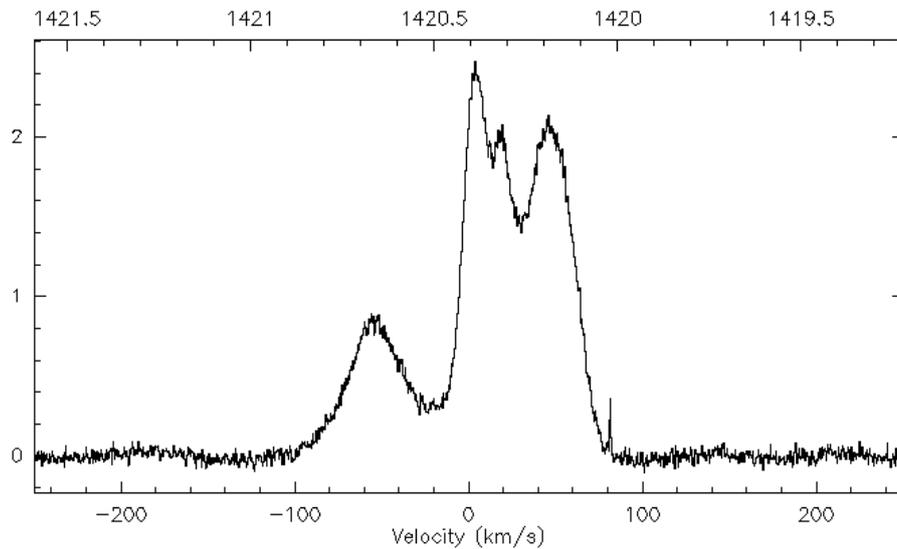


Abbildung 11: Spektrum 50° galaktische Länge.



0;0 GAL 55.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 19:33:19.90 DEC: 19:32:04.4 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 57.8  
N: 4096 l0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Fi: N/A

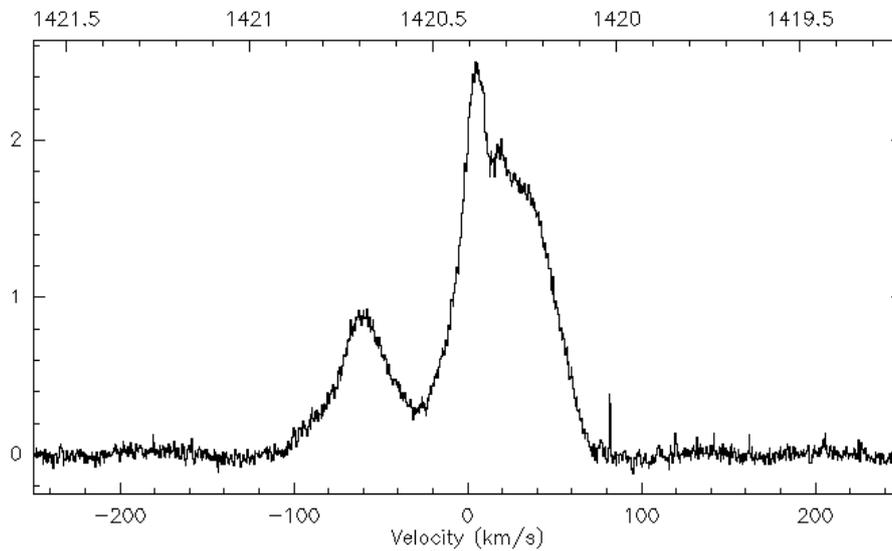


Abbildung 12: Spektrum 55° galaktische Länge.

0;0 GAL 60.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 19:43:54.33 DEC: 23:53:25.3 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 61.8  
N: 4096 l0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Fi: N/A

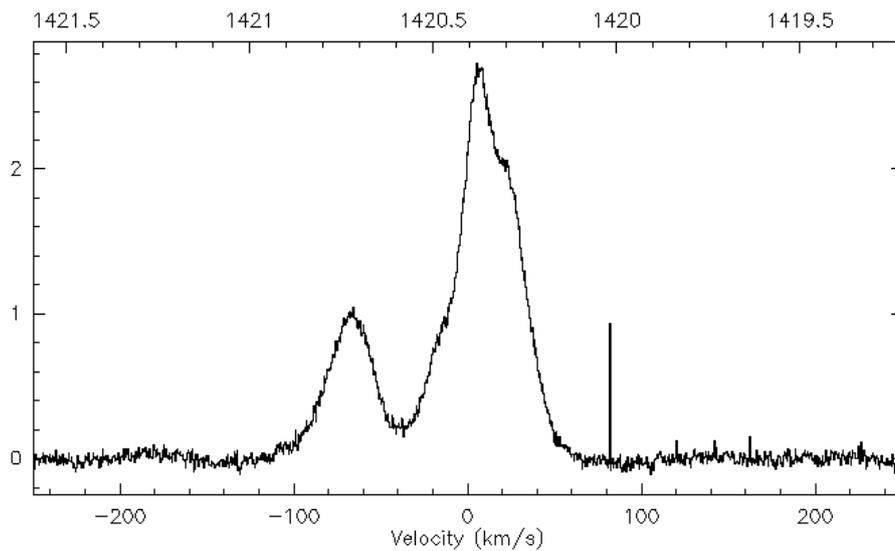


Abbildung 13: Spektrum 60° galaktische Länge.



0;0 GAL 65.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 19:55:12.78 DEC: 28:11:52.4 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 65.4  
N: 4096 IQ: 2867.00 VQ: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Ft: N/A

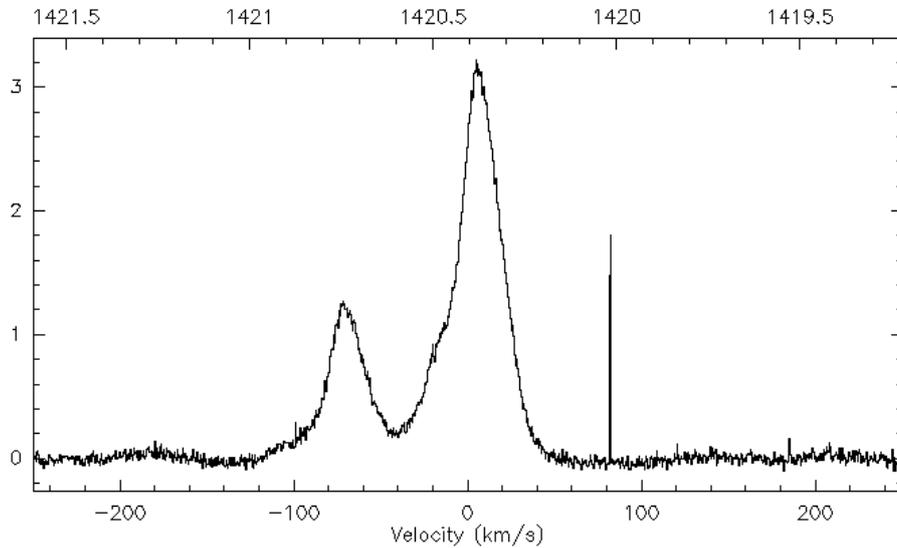


Abbildung 14: Spektrum 65° galaktische Länge.

0;0 GAL 70.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 20:07:27.88 DEC: 32:26:32.8 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 68.6  
N: 4096 IQ: 2867.00 VQ: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Ft: N/A

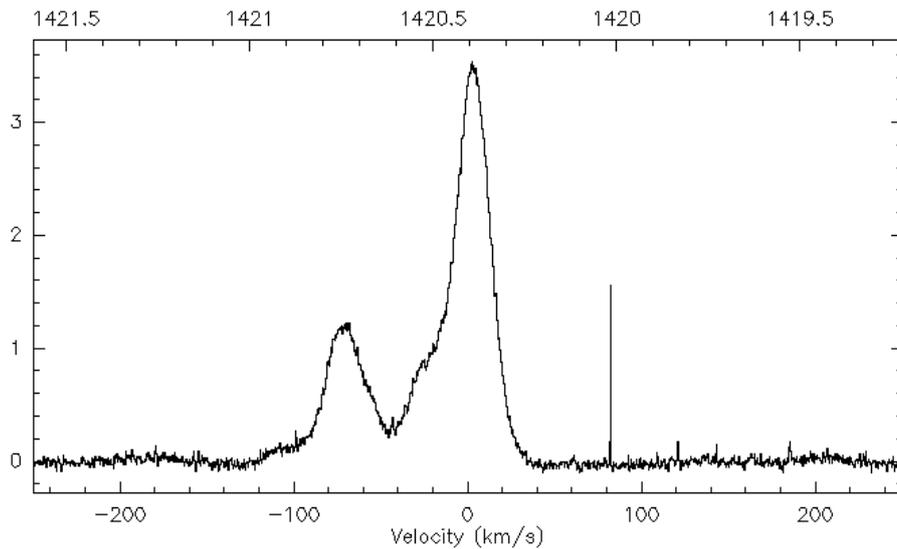


Abbildung 15: Spektrum 70° galaktische Länge.



0;0 GAL 75.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 20:20:55.00 DEC: 36:36:20.2 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 70.9  
N: 4096 l0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FO: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Fi: N/A

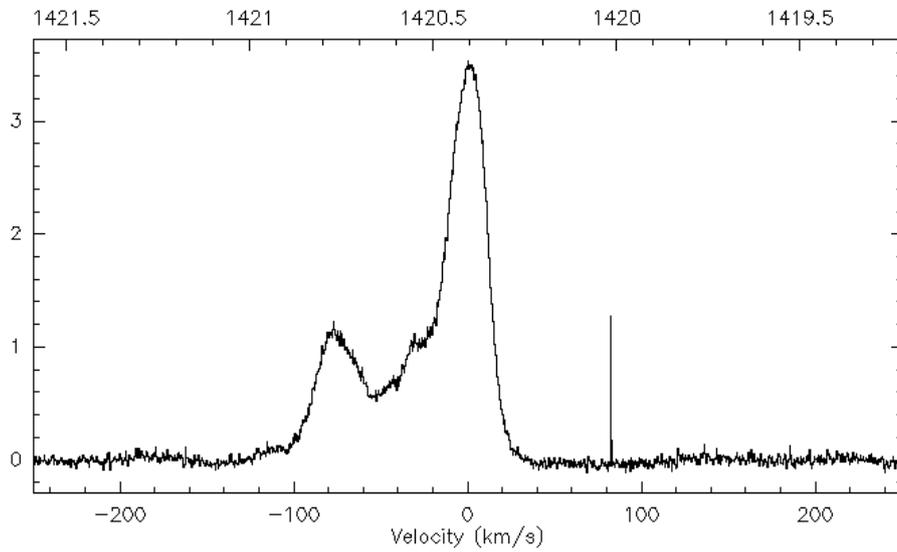


Abbildung 16: Spektrum 75° galaktische Länge.

0;0 GAL 80.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 20:35:53.09 DEC: 40:39:49.0 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 72.4  
N: 4096 l0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FO: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Fi: N/A

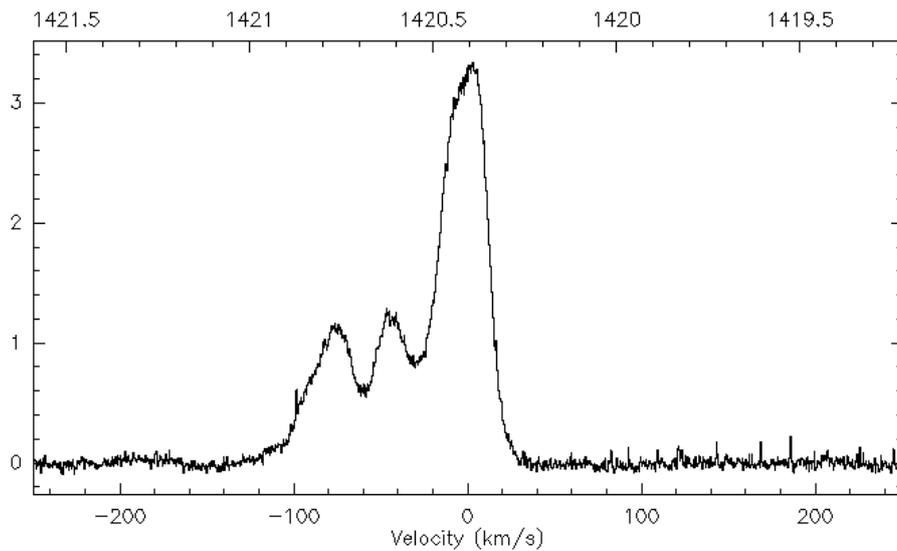


Abbildung 17: Spektrum 80° galaktische Länge.



0;0 GAL 85.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 20:52:45.56 DEC: 44:35:07.2 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 72.8  
N: 4096 I0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Fi: N/A

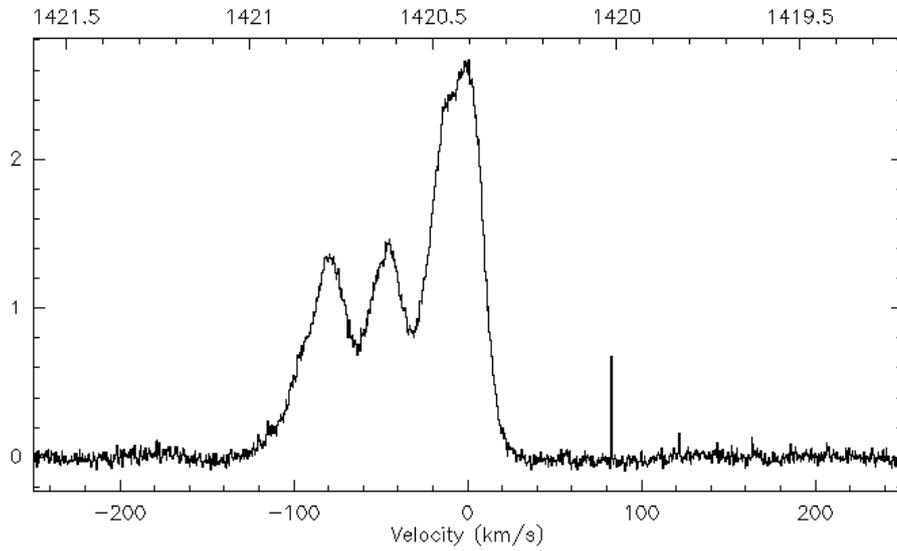


Abbildung 18: Spektrum 85° galaktische Länge.

0;0 GAL 90.0 0.0 HYDROGEN ST02 ADALM P 0:24-NOV-2022 R:10-DEC-1934  
RA: 21:12:01.05 DEC: 48:19:46.7 Eq 2000.0 None 0.0° Offs: +0.0 +0.0  
Unknown tau: 0.000 Tsys: 90. Time: 20.0sec El: 72.3  
N: 4096 I0: 2867.00 V0: 0.000 Dv: -0.3092 Unkn  
FD: 1420.40575 Df: 1.4648E-03 Fi: N/A

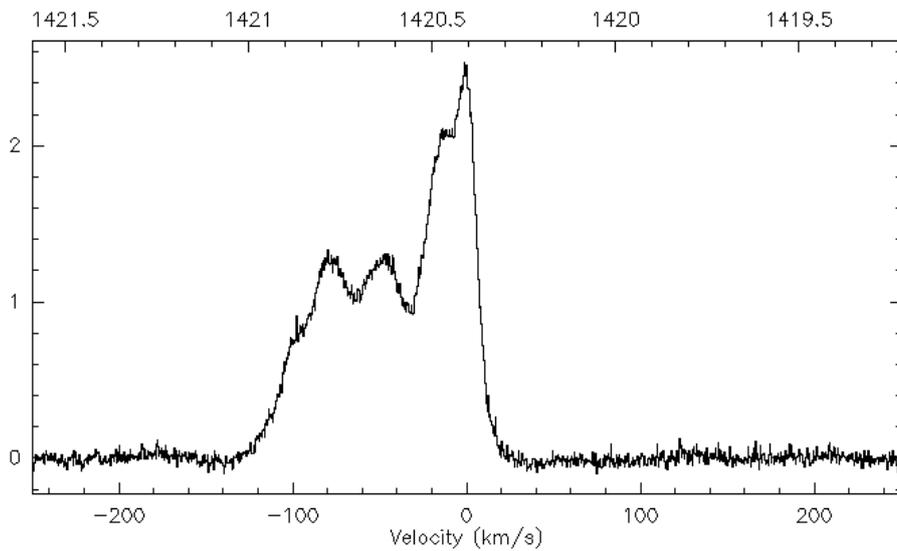


Abbildung 19: Spektrum 90° galaktische Länge.



## Abschlussdiskussion

### Ganz anders als erwartet

Nur nahe am galaktischen Zentrum dreht sich die Milchstraße wie ein Karussell. Je weiter außen Du sitzt, umso höher ist Deine Geschwindigkeit. In den Außenbereichen der Milchstraße bleibt die Geschwindigkeit konstant hoch. Auch unsere Sonne reist mit dieser gleichbleibenden hohen Geschwindigkeit um das Zentrum. Diese konstante Geschwindigkeit der Sterne und des interstellaren Gases in großen Entfernungen vom Zentrum ist äußerst bemerkenswert.

### Interpretation

Die am weitesten in der Wissenschaft akzeptierte Deutung dieses Phänomens führt eine neue Form von Materie ein, die sogenannte Dunkle Materie. Eine Form der Materie, die nicht mit Lichtteilchen im Austausch steht, daher auch selbst nicht leuchtet und damit dunkel ist. Zudem muss die Dunkle Materie aus einer anderen Form von Materie gebildet werden als alles was wir im Universum direkt beobachten können. Dunkel sagt damit nicht nur aus, dass die Dunkle Materie nicht leuchtet, sondern auch, dass ihre Natur für uns im Dunkeln liegt. Weniger weit akzeptiert, dennoch in Übereinstimmung mit der Beobachtung von nahen Galaxien, ist die Theorie der *modified newtonian dynamics* (MOND). Diese Theorie geht davon aus, dass die lineare Beziehung  $F = m \cdot a$  (Newtons Gesetz) in Bereichen mit sehr geringen Gravitationskräften seine Gültigkeit verliert. Hier wird angenommen, dass ein zusätzliches Kraftfeld wirkt. Ähnlich den virtuellen Teilchen, die ein Vakuum erfüllen. Somit thematisiert dieses einfache Experiment einige grundsätzliche Fragen der modernen Astrophysik. Aber das ist ein anderes Experiment...



## Wie geht es weiter?

### Angebote für Schulklassen und Kurse:

Im Anschluss an diesen Forschungsauftrag laden wir besonders interessierte Schulklassen und Kurse dazu ein, noch tiefer in die Materie einzusteigen. Wir freuen uns über eingereichte Erfahrungsberichte und Feedback zu diesem Forschungsauftrag. Dafür haben wir eine Kurzanleitung und weiterführende Informationen für Interessierte unter <https://www.faszination.uni-bonn.de/schule> veröffentlicht.

Nach Möglichkeit und Kapazität vermittelt das Argelander-Institut für Astronomie gemeinsam mit diversen Partner\*innen individuelle Angebote (z.B. *Meet a Scientist*) für einzelne Einreichungen, um die Faszination unseres Universums live zu erleben. Diese Follow-Up-Aktionen finden ab 2024 beispielsweise vor Ort an der Schule oder im Umfeld der Universität Bonn statt.

## Literaturverzeichnis

[1] Ekaterina Magg et al., 2022: Observational constraints on the origin of the elements – IV. Standard composition of the Sun. *Astronomy & Astrophysics*, 661. DOI:10.1051/0004-6361/202142971.

[2] Website Astroteiler (<https://www.astroteiler.de/>; letzter Zugriff: 13.11.2024)

## Bildnachweise

**Abbildungen 1-19:** Spektren von Radioteleskop-Messungen, aufgenommen am Astroteiler Stockert von Jürgen Kerp (November 2022).

**Icon Kopfzeile und Seite 1:** Radioteleskop. Abbildung von Ulrike Syrakas, Universität Bonn.

**Icons Seite 1:** Uhr, Ausrufezeichen & Fragezeichen, Schere. Abbildungen von Lara Becker, Universität Bonn.



## Impressum

„Geschwindigkeitskontrolle auf der Milchstraße“ – ein Forschungsauftrag für Schüler\*innen.  
Veröffentlichung der Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn im Rahmen des  
Wissenschaftsjahres 2023 „Unser Universum“ als Beitrag zum Exponat „Dem Universum auf der Spur“.

**Stand:** Dezember 2024

### Herausgeber:

#### Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Regina-Pacis-Weg 3

53113 Bonn

Telefon: +49 (0) 228 73-0

E-Mail: [kommunikation@uni-bonn.de](mailto:kommunikation@uni-bonn.de)

Internet: <https://www.uni-bonn.de>

Die Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts. Sie wird durch den amtierenden Rektor gesetzlich vertreten. Der amtierende Rektor ist Prof. Dr. Dr. h. c. Michael Hoch.

Zuständige Aufsichtsbehörde: Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Völklinger Straße 49, 40221 Düsseldorf.

Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß § 27 a Umsatzsteuergesetz: DE 122119125.

### Lizenzhinweis:

Soweit nicht anders angegeben, unterliegt dieses Dokument einschließlich Texten und Abbildungen der Lizenz Creative Commons Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International (CC BY-SA 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>).

Eine vereinfachte Fassung ist verfügbar unter <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>.



### Zitervorschlag:

„Geschwindigkeitskontrolle auf der Milchstraße“ – ein Forschungsauftrag für Schüler\*innen. Universität Bonn (P.D. Dr. Jürgen Kerp); <https://www.faszination.uni-bonn.de/rotationskurve>.

CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>).

### Download:

<https://www.faszination.uni-bonn.de/rotationskurve>