



Christian Jentsch (Autor)

**Konzeption und Aufbau eines Experimentes zur
quantenlimitierten Inertialsensorik mit
lasergekühlten Rubidiumatomen**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2795>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
1 Einleitung	1
2 Inertiale Phasenverschiebungen in Materiewelleninterferometern	7
2.1 Wechselwirkung von Licht mit 2-Niveau-Atomen	7
2.2 Raman-Übergänge	9
2.3 Atominterferometer im Blochkugel-Modell	11
2.4 Symmetrische und unsymmetrische Interferometer	13
2.5 Berechnung inertialer Phasenverschiebungen	17
2.5.1 Allgemeine Beschreibung von inertialen Phasenverschiebungen	17
2.5.2 Räumlich getrennte Strahlteiler	20
2.5.3 Die Sagnac-Phase	22
3 Quantenlimitierungen und Rauschen	25
3.1 Standardquantenlimit	25
3.1.1 Schrotrauschen	25
3.1.2 Squeezing und Verschränkung	29
3.2 Transferfunktion und Sampling	35
3.2.1 Bestimmung der Sensitivitätsfunktion	35
3.2.2 Transferfunktion für eine $\pi/2 - \pi - \pi/2$ -Sequenz	38
3.2.3 Fiktives Phasenrauschen durch Abtastung	39
3.2.4 Mehrere Ensembles und kontinuierlicher Interferometerbetrieb	42
4 Konzept für ein Experiment zur differentiellen Interferometrie mit kalten Atomen	45
4.1 Quellen kalter Atome für die Atominterferometrie	45
4.1.1 Vorteile langsamer kalter Atome	45
4.1.2 Laserkühlung von Atomen	47
4.1.3 Bose-Einstein-Kondensate	49
4.2 Phasenstabilisiertes Raman-Lasersystem	51
4.3 Zustandspräparation	53

4.4	Detektion	55
4.5	Differentielle Interferometrie mit zwei Ensembles	56
4.6	Wahl der Parameter	58
5	Experimenteller Aufbau	61
5.1	Vakuumsystem	61
5.1.1	Konzept, Vorarbeiten und Konstruktion	61
5.1.2	Fertigung und Aufbau	69
5.2	Optikaufbau	70
5.2.1	Laserquellen und -verstärker	70
5.2.2	Spektroskopie zur Frequenzstabilisierung	72
5.2.3	Überblick über den Aufbau der optischen Tische	73
5.2.4	Faserteleskope	76
5.3	Raman-Lasersystem	77
5.3.1	Lasersystem	77
5.3.2	Phasenlock	79
5.3.3	Phasenlockelektronik bei CASI	80
5.4	Experimentsteuerung	81
5.4.1	LabView [®] und Ansteuerungsmöglichkeiten	81
5.4.2	Zeitliche Abfolge des Experimentzyklus	82
6	Vermessung der Atomquellen	85
6.1	2D-MOT-System	85
6.1.1	Atomfluss	85
6.1.2	Longitudinale Geschwindigkeitsverteilung	88
6.2	Doppel-MOT-System	89
6.2.1	Optimierung wichtiger Parameter zum Erreichen einer hohen Laderate	89
6.2.2	Temperatur der MOT	93
7	Präzisionsmessungen mit Atomen im Weltraum	95
7.1	Vorteile weltraumgestützter Experimente	95
7.2	Atomuhren unter Schwerelosigkeit	96
7.3	Atominterferometrie auf einem Satelliten: Die HYPER-Mission	97
7.3.1	Missionsziele	97
7.3.2	Lense-Thirring-Effekt	98
7.3.3	Messung der Feinstrukturkonstante α	103
7.3.4	Aufbau der Atominterferometer im Satelliten	104
7.3.5	Satellitenplattform	105
8	Ausblick	109
	Literaturverzeichnis	113
	Abbildungen	128

Index	130
A Daten von Rubidium-87	133
B Konstruktionszeichnungen der Vakuumkammer	135
C Schaltpläne	139
C.1 3f-lock	139
C.2 Shuttertreiber	143
D Programmcodes	145
D.1 Trajektorien	145
D.2 2D-Mot-Magnetfeld	146
D.3 Transferfunktion	148