

Wellenpaketdynamik in Alkali-Dimeren: Untersuchung und Steuerung durch kohärente Anregung mit fs-Pulsen



Dissertation

eingereicht am
Fachbereich Physik
der
Freien Universität Berlin

Franziska Nele Barbara Sauer
Berlin 2007

1. Gutachter: Prof. Dr. Ludger Wöste
(Freie Universität Berlin)

2. Gutachterin: Prof. Dr. Vlasta Bonačić-Koutecký
(Humboldt-Universität zu Berlin)

Disputation 4. Mai 2007

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Femtosekunden-Laserpulse: Erzeugung, Charakterisierung und Modulation	9
2.1	Erzeugung von fs-Laserpulsen	9
2.1.1	Der Ti:Saphir-Oszillator	10
2.1.2	Verstärkte fs-Laserpulse	12
2.1.3	Pulscharakterisierung	13
2.2	Formung von fs-Pulsen	16
2.2.1	Beschreibung geformter fs-Pulse	16
2.2.2	Der Pulsformer	20
2.2.2.1	Null-Dispersions-Kompressor	20
2.2.2.2	Flüssigkristalle	21
2.2.2.3	Funktionsweise des Pulsmodulators	22
2.2.2.4	Phasen- und Amplitudenmodulation	23
3	Grundlagen zur Molekulardynamik	27
3.1	Theoretische Grundlagen der Molekülbeschreibung	27
3.2	Wechselwirkung von Molekülen mit Laserpulsen	28
3.3	Die Pump-Probe-Spektroskopie	31
4	Isotopenselektive Anregung von Dimeren im Molekularstrahl	35
4.1	Die adaptive Rückkopplungsschleife	36
4.1.1	Evolutionärer Algorithmus	38
4.2	Die Molekularstrahlapparatur	41
4.3	Isotopenselektive Anregung von NaK	45
4.3.1	Die experimentellen Gegebenheiten	45
4.3.1.1	Der NaK-Molekularstrahl	45
4.3.1.2	Verwendetes Lasersystem und Pulsformer	46
4.3.1.3	Signalaufnahme des Isotopomerenverhältnisses	48
4.3.2	Das NaK-Dimer	48
4.3.2.1	Energiepotentialkurven des NaK-Dimers	48
4.3.2.2	Die vibrationellen Übergänge	49

4.3.2.3	Fs-Pump-Probe-Spektroskopie	54
4.3.2.4	Die Franck-Condon-Faktoren	57
4.3.3	Isotopenselektive Anregung von $^{23}\text{Na}^{39}\text{K}/^{23}\text{Na}^{41}\text{K}$ bei den Zentralwellenlängen 770 und 780 nm	60
4.3.3.1	Kombinierte Phasen- und Amplitudenmodulation	60
4.3.3.2	Reine Amplitudenmodulation	75
4.3.3.3	Reine Phasenmodulation	77
4.3.4	Vergleich der experimentellen CLL-Ergebnisse mit OCT- Ergebnissen zur isotopenselektiven Anregung von NaK . .	82
4.3.4.1	Reine Phasenoptimierung zur Maximierung des Isotopomerenverhältnisses $^{23}\text{Na}^{39}\text{K}/^{23}\text{Na}^{41}\text{K}$. . .	82
4.3.4.2	Kombinierte Phasen- und Amplitudenoptimierung zur Maximierung des Isotopomerenverhältnisses $^{23}\text{Na}^{39}\text{K}/^{23}\text{Na}^{41}\text{K}$	88
4.4	Isotopenselektive Anregung von KRb	93
4.4.1	Die experimentellen Gegebenheiten	93
4.4.1.1	Der KRb-Molekularstrahl	93
4.4.1.2	Verwendetes Lasersystem und Pulsformer	94
4.4.2	Das KRb-Dimer	96
4.4.2.1	Energiepotentialkurven des KRb-Dimers	96
4.4.2.2	Die vibrationellen Übergänge	97
4.4.3	Isotopenselektive Anregung von $^{124}\text{KRb}/^{126}\text{KRb}$	100
4.4.3.1	Kombinierte Phasen- und Amplitudenmodulation	100
4.4.3.2	Reine Amplitudenmodulation	106
4.4.3.3	Reine Phasenmodulation	108
5	Pump-Probe-Spektroskopie an Rb_2-Molekülen in der MOT	113
5.1	Die magneto-optische Falle (MOT)	114
5.1.1	Laserkühlung	114
5.1.2	Die experimentelle Verwirklichung einer MOT	116
5.1.3	Das Rb_2 -Molekül	120
5.1.4	Aufbau der magneto-optischen Falle (dark SPOT)	123
5.2	Lasersystem und Pump-Probe-Aufbau	125
5.2.1	Das 100 kHz-Verstärkersystem	125
5.2.2	Der NOPA	125
5.2.3	Aufbau des Pump-Probe-Experiments	126
5.3	Ziel der Experimente	129
5.4	Fs-Pump-Probe-Spektroskopie an Rb_2 in der MOT	130
5.4.1	Darstellung der Ergebnisse	130
5.4.1.1	Messungen an der D_1 -Linie	130
5.4.1.2	Messungen an der D_2 -Linie	143
5.4.2	Diskussion der Pump-Probe-Ergebnisse an Rb_2	162

5.4.2.1	Ergebnisdiskussion ausgehend von leicht gebundenen Grundzustandsmolekülen	162
5.4.2.2	Ergebnisdiskussion ausgehend von Photoassoziation der Moleküle mit fs-Laserpulsen	171
6	Zusammenfassung	175
	Abbildungsverzeichnis	179
	Tabellenverzeichnis	183
	Literaturverzeichnis	185