
7 Diskussion und Ausblick

Im Rahmen dieser Dissertation wurde ein vollständiges Detektorsystem zum empfindlichen Nachweis von Quecksilberatomen und -molekülen durch resonante Photoionisationsspektroskopie entworfen, aufgebaut und charakterisiert. Neben dem Einsatz zum Nachweis von Spin-verschränkten ^{199}Hg -Atomen in einem neuen, schlupfloch-freien Bell-Experiment, dessen Grundzüge im zweiten Kapitel dieser Arbeit vorgestellt wurde, bietet das System noch eine Vielzahl anderer Anwendungsmöglichkeiten, wie beispielsweise die Detektion von Quecksilberkontaminationen in Industrieabgasen.

Es wurde zunächst ein regeneratives Ti:Saphir-Verstärkersystem als Strahlquelle für die resonante Ionisationsspektroskopie aufgebaut. Mit diesem konnten mittels der Frequenzkonversion von 5.5 ns langen Pulsen einer Energie von 2.4 mJ bei 761 nm und 3.8 mJ bei 789 nm Pulse mit Energien von 580 μJ bei 253.7 nm und 180 μJ bei 197.2 nm erzeugt werden. Der breitbandige, spektrale Untergrund war dabei um rund 25 dB unterdrückt. Durch die Verwendung geeigneter Seedquellen und die Anpassung der benutzten Optiken kann der Verstärker leicht auf zwei andere Wellenlängen innerhalb des Verstärkungsbereichs von Ti:Saphir umgebaut werden. Desweiteren kann durch die Nutzung weiterer nichtlinearer Effekte - wie beispielsweise Summen- und Differenzfrequenzerzeugung - der erreichbare Frequenzbereich erheblich erweitert werden.

Zur eigentlichen Detektion der Ionisationsprodukte werden Kanal-Elektronen-Vervielfacher verwendet. Diese erreichen gegenüber alternativ verwendbarer Viel-Kanal-Verstärker deutlich höhere Verstärkungsfaktoren und Detektionseffizienzen. Zur Anpassung der kinetischen Energien und zur Vergrößerung des Sammelbereiches wurden zusätzlich elektrostatische Optiken verwendet, welche zunächst mit Hilfe von SIMION modelliert und optimiert wurden.

Zum Test des Gesamtsystems wurde eine UHV-Kammer gebaut und mit einem effizienten Blendensystem zur Streulichtunterdrückung ausgestattet. So konnten OR-kombinierte Effizienzen von knapp 0.90 erreicht werden, was die Anforderungen einer minimalen Effizienz von 0.829 des Bell-Experimentes klar erfüllt.

Es wurden verschiedenste Messungen an Quecksilberatomen in der Gasphase durchgeführt. So konnte die Isotopieverschiebung aller stabilen Isotope vermessen werden. Auch das mit 0.0015 relativer Häufigkeit sehr schwach vorhandene ^{196}Hg konnte problemlos nachgewiesen und vermessen werden. Zusätzlich zu dem eigentlichen Anregungsprozess konnte im Verlauf der Messungen noch ein zweiter, deutlich ineffizienterer Prozess identifiziert werden, der auf einer Multiphotonenanregung von $(5d^{10}6s^2)^1S_0$ in den Zustand $(5d^96s^26p)^1P_0$ basiert. Untersuchungen zur zeitlichen Verzögerung des 197.2 nm-Pulses gegenüber des 253.7 nm-Pulses zeigen ein Maximum der Ionisationsrate bei einem Wert von etwa 2 ns. Durch Polarisationsmessungen konnte das für das angestrebte Bell-Experiment wichtige

Konzept zur Spin-Selektivität bestätigt werden. Es zeigten sich dabei Asymmetrien, die sich durch den Verlauf des Magnetfeldes innerhalb der Anregungszone erklären lassen.

Die prinzipielle Eignung des Detektors zur Durchführung des Bell-Experimentes wurde gezeigt. Darüber hinaus wurde ein neuer Anregungsprozess zur Ionisation von Quecksilber entdeckt und vermessen. Erste Tests mit einer modifizierten Ionenoptik, bei der der Detektor durch eine hochpolierte Edeltahlscheibe ausgetauscht wurde, zeigen Möglichkeiten auf, konzidente Messungen von Ionen und Elektronen in Zukunft mit nur einem einzigen Detektor durchzuführen. Hier sind mittelfristig Tests mit schnelleren Channeltrons und besseren Metalltargets - wie beispielsweise Al-bedampfte Glassubstrate interessant.

Für das Bell-Experiment wäre der nächste Schritt der Bau einer tatsächlichen Detektorkammer, die den Begebenheiten während des Experimentes Rechnung trägt. So wäre ein Kreuzungswinkel der beiden Strahlungspulse von 90° wichtig, da sich so die Anregungszone deutlich genauer und reproduzierbarer definieren lässt. Außerdem kann durch eine Erweiterung des Blendensystems die Streulichtunterdrückung in diesem Fall deutlich verbessert werden, was es ermöglicht die Distanz zwischen den Detektoren und damit die Flugzeit von Ionen und Elektronen zu verringern. Eine solche Reduktion ist in Hinblick auf die Schließung des Lokalitätsschlupfloches durchaus wünschenswert, um den Gesamtaufbau in einer vertretbaren Dimensionierung zu halten. Ist das gelungen, muss der Aufbau noch um eine Möglichkeit erweitert werden, die Spin-Selektion schnell und zufällig zu variieren. Ideen auf der Grundlage von schnellen EOMs existieren hierzu bereits [18].

Mit der erfolgreichen Realisierung einer Quecksilber-MOT Ende 2009 [19] konnte ein großer Schritt in Richtung der Erzeugung kalter Hg-Dimere zurückgelegt werden. Deren Bildung und Kühlung zusammen mit der erfolgreichen Durchführung der Photodissoziation stellt den nächsten wichtigen Zwischenschritt auf dem „Weg zu einer finalen Antwort“ auf EPR dar.