

Samenvatting

Het nauwkeurig controleren van quantum systemen is essentieel zowel voor toepassingen in quantum informatica en quantum sensoren als voor experimentele tests van de quantum mechanica. De experimenten die in dit proefschrift worden beschreven, introduceren quantum metingen en terugkoppeling protocollen met enkele spins in diamant om deze doelen te bereiken. Spins nabij het stikstof-holte (nitrogen-vacancy, NV) centrum in diamant zijn uiterst geschikt om quantum effecten te demonstreren en zijn een veelbelovende bouwsteen voor toekomstige quantum technologie.

Het NV centrum is een atomisch defect in het diamant rooster bestaande uit een stikstofatoom in plaats van een koolstofatoom en een ontbrekend koolstofatoom op een naburige roosterplek. Met zijn elektron spin en nabijgelegen kernspins vormt het NV centrum een quantum register bestaande uit spins met lange coherentietijden die gemanipuleerd kunnen worden met magnetische resonantie technieken. Bij temperaturen beneden de 10 K vertoont het NV centrum spin-selectieve optische transities die individueel aangeslagen kunnen worden. Op deze manier kan de electron spin zeer betrouwbaar worden geïnitieerd, gemeten en verstrengeld met een foton.

In hoofdstuk 3 wordt de fundamentele balans tussen het verkrijgen van informatie en het verstoren van een quantum toestand die hoort bij een quantum meting onderzocht. Door de kernspin te meten via de elektron spin kan de sterkte van de meting gevarieerd worden. Hierbij bepaalt de mate van verstrengeling tussen de twee spins de meetsterkte. Een nieuw ontwikkelde QND meting van de elektron spin kan decoherentie van de kernspin tijdens de uitlezing van de elektron spin verminderen. Dankzij deze QND meting kunnen opeenvolgende gedeeltelijke metingen op de kernspin worden gedaan. Tot slot laten we zien dat de terugslag van opeenvolgende gedeeltelijke metingen gebruikt kan worden om de toestand van de kernspin te manipuleren door gebruik te maken van terugkoppeling.

De elektron spin kan worden gebruikt om statische magnetische velden te meten door opeenvolgende Ramsey sequenties uit te voeren. De experimenten die besproken worden in hoofdstuk 4 richten zich op de open vraag of het gebruik van terugkoppeling kan helpen om een quantum sensor te verbeteren. In het gedemonstreerde protocol met terugkoppeling wordt de meetbasis van de elektron spin geoptimaliseerd door een Bayesiaanse schatting te maken van het magneetveld gebaseerd op de voorgaande meetuitkomsten. De experimenten tonen aan dat het gebruik van terugkoppeling voordelig is wanneer men de *overhead* meerekent.

De resultaten in hoofdstuk 5 demonstreren dat twee elektronen spins in diamanten op een afstand van 3 meter met elkaar verstrengeld kunnen worden door middel van metingen. Door de individuele elektronen spins lokaal te verstrengelen met een foton en vervolgens de

fotonen gezamenlijk te meten, worden de elektronen spins in een verstrengelde toestand geprojecteerd. Het resulterende Bell-paar dat gedeeld wordt tussen de twee locaties wordt gebruikt om de toestand van een kernspin in de ene diamant te teleporteren naar een elektron spin in de andere diamant. Hiertoe wordt de kernspin in de te verzenden toestand gebracht waarna de kernspin en de elektron spin lokaal gemeten worden in de Bell-basis. Door het resultaat van deze meting via een klassiek kanaal te communiceren naar de ontvangst locatie kunnen we met terugkoppeling de elektron spin in de andere diamant in de gewenste toestand brengen.

In de laatste twee hoofdstukken van dit proefschrift wordt de mogelijkheid onderzocht om zwak gekoppelde ^{13}C spins te gebruiken als een quantum geheugen dat robuust is tegen verstoringen die kunnen optreden wanneer de elektron spin optisch aangeslagen wordt. Het vermogen om een quantum toestand op te slaan in een quantum register terwijl het tegelijkertijd verstrengeld wordt met een ander register maakt het mogelijk om *entanglement purification* en *quantum repeater* protocollen te implementeren. In een theoretisch model wordt de decoherentie van de koolstof spin beschreven wanneer de elektron spin herhaaldelijk geïnitieerd wordt (net zoals in het hierboven genoemde protocol om elektronen over afstand te verstrengelen). Dit model wordt getest in een diamant met relatief weinig ^{13}C isotopen waarin de koolstof spins dankzij hun lage koppelingssterkte (200 Hz) minder gevoelig zijn voor verstoringen door de elektron spin. Hoewel de waargenomen decoherentie sterker is dan het model voorspelt, laten de resultaten zien dat het mogelijk is om een quantum toestand op te slaan in een ^{13}C spin terwijl het elektron optisch aangeslagen wordt.