

Quantum Measurement Theory: Foundations and Applications

741. WE-Heraeus Seminar

Die Theorie der Quantenmessungen bildet einen mathematischen Rahmen für die Beschreibung dynamischer Prozesse in der Quantenmechanik, z. B. die Dynamik eines offenen Systems oder die Änderung des Zustandsvektors aufgrund einer Messung. Innerhalb dieses Rahmens dienen dynamische Abbildungen dazu, die zugehörigen Zustandstransformationen möglichst genau zu beschreiben. Damit bildet die Theorie der Quantenmessungen einen wichtigen Eckpfeiler der Grundlagen der Quantenmechanik. Viele Eigenschaften von Quantenmessungen sind bis heute nicht komplett verstanden und Gegenstand aktiver Forschung.

Dieses Seminar gab dem wissenschaftlichen Nachwuchs einen Überblick über verschiedene Aspekte der Theorie der Quantenmessungen und bot eine Plattform für den Austausch mit erfahreneren Wissenschaftler:innen dieses Forschungsgebiets. Nach einer 1,5-jährigen Verschiebung fand das Seminar vom 10. bis 13. Juli im Physikzentrum in Bad Honnef mit 66 Präsenz- und weiteren 24 Online-Teilnehmenden statt. Die Vortragsthemen bildeten ein breites Spektrum von Grundlagenfragen bis hin zu Anwendungen ab. Im Hinblick auf die Grundlagen wurde z. B. erörtert, wie sich die nicht-klassischen Eigenschaften von Messungen, etwa die Inkompatibilität oder die Nicht-Lokalität verallgemeinerter Quantenmessungen, besser verstehen lassen. Letztere spielen eine wichtige Rolle für die Untersuchung quantenmechanischer Korrelationen und deren Anwendungen in der Quantenkommunikation. Für Anwendungen sind Messmethoden nötig, um veräuschte Quantenhardware, z. B. neuartige Quantenprozessoren, zu charakterisieren. Hier wurden Verallgemeinerungen von Ausleseprotokollen basierend auf zufälligen projektiven Messungen hin zu verallgemeinerten Quantenmessungen diskutiert.

Höhepunkte des Seminars bildeten die beiden Postersitzungen mit 51 Postern. Sie erlaubten den Vortragenden, sich mit den anwesenden Expert:innen über ihre Forschungsarbeiten auszutauschen und deren Rückmeldung einzuholen. Die Teilnehmenden würdigten die hohe Qualität der vorgestellten Arbeiten.

Wir danken dem Team des Physikzentrums für die professionelle Organisation vor Ort und der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die großzügige finanzielle und organisatorische Unterstützung.

Dr. Andreas Ketterer, Fraunhofer IAF Freiburg; **Dr. Roope Uola**, U Genève, Schweiz

Fermi Surface, Novel Quantum Phases, and Superconductivity in Strongly Correlated Electrons Systems

Les Houches – WE-Heraeus School

Die Erforschung, das Verständnis und die Beschreibung von Materialien mit starken elektronischen Coulomb-Korrelationen gehören nach wie vor zu den großen Herausforderungen der modernen Festkörperphysik. Bekannte Beispiele für solche Systeme sind Übergangsmetalloxide, Metalle, die Lanthanid- oder Aktinid-Atome enthalten, und organische Leiter. Bei niedrigen Temperaturen zeigen diese Materialien neuartige Phänomene wie Metall-Isolator-Übergänge, schwere Fermionen, unkonventionelle Supraleitung, ungewöhnlichen Magnetismus, streifenförmige und nematische Ordnungen sowie ausgeprägte Abweichungen vom typischen universellen Metallverhalten.

Das Ziel dieser Physikschule, die vom 27. März bis 1. April im französischen Tagungszentrum École de physique des Houches stattfand, war, das Verständnis der Physik korrelierter Quantenmaterialien, insbesondere supraleitender Zustände, zu vertiefen. Dabei sollten die Teilnehmer, die überwiegend aus Frankreich und Deutschland kamen, einen umfassenden Überblick über die grundlegenden Ideen, den aktuellen Stand, die jüngsten Entwicklungen und die Perspektive dieses Gebiets erhalten. Das Programm umfasste 16 ein- oder zweistündige Vorträge zu Schlüsselfragen im Zusammenhang mit Fermi-Flächen und ihrer Rolle in Systemen mit starken elektronischen Korrelationen. Die Vorträge gaben einen Überblick über wichtige Materialien und ihre Herstellung, aktuelle Messtechniken sowie die Theorie und das Verständnis der grundlegenden Konzepte. Die Nachwuchswissenschaftler diskutierten viel miteinander und mit den Vortragenden und konnten ihre eigenen Ergebnisse in einer Postersitzung präsentieren. Dies ermöglichte einen intensiven wissenschaftlichen Austausch. So war das Feedback der Teilnehmenden denn auch äußerst positiv. Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die großzügige Unterstützung des Workshops.

Prof. Dr. Gertrud Zwicknagl, TU Braunschweig, im Namen der Organisatoren

Charge Noise in Semiconductor Spin Qubits

WE Heraeus Fast Track Workshop

Ladungsrauschen ist eine der größten Herausforderungen bei der Skalierung von Halbleiter-basierten Spin-Qubits zu größeren Quantensystemen. Während der Spin-Zustand von Elektronen und Löchern weitgehend von deren Ladungsfreiheitsgrad isoliert ist, erfordert die Manipulation von

Spin-Qubits mit Gatespannungen eine Form der Spin-Ladungs-Kopplung. Diese lässt sich entweder durch eine dem Material intrinsische Spin-Bahn-Wechselwirkung oder durch lokale magnetische Feldgradienten realisieren. Die Kopplung des Spins mit der Ladung macht das Qubit jedoch empfindlich gegenüber unkontrollierten Ladungs- oder Feldfluktuationen im Substrat, an den Grenzflächen und durch elektrisches Rauschen an den Gates. Unklar ist bislang, wie das Ladungsrauschen am besten zu charakterisieren oder das Problem zu umgehen ist.

Um solch aktuelle Themen zeitnah zu diskutieren, gibt es das neue Format des „Fast Track Workshops“ der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung. So konnten wir mit sehr kurzer Vorbereitungszeit (drei Monate von Antragseinreichung bis Durchführung) eine eindrucksvolle internationale Auswahl an Forschenden zusammenbringen, um über dieses wichtige Thema zu diskutieren. Der Workshop fand am 9. und 10. Juni auf dem Campus von IBM Research Europe in Zürich statt und hatte mit zwanzig externen und zehn lokalen Teilnehmenden genau die richtige Größe, um intensiv und zielführend diskutieren zu können.

Schon der erste Vortrag führte mit einer Liste provokativer Fragen zu einer angeregten Diskussion über den Zusammenhang zwischen Material- respektive Transporteigenschaften von SiGe-Heterostrukturen (z. B. deren Mobilität) mit dem Ladungsrauschen in darauf basierenden Qubits. Generell haben viele Sprecher den Zusammenhang zwischen amorphen Materialien (Oxide und Prozessierungsrückstände), Interfacetraps und atomaren Verunreinigungen mit dem Ladungsrauschen hergestellt. Neben den mikroskopischen Quellen des Ladungsrauschens wurden die zugehörigen Messmethoden diskutiert. Ein interessanter Aspekt war die Frage, ob man die Qubits gegenüber dem Ladungsrauschen unempfindlich machen kann, d. h. ob es „sweet spots“ gibt, an welchen man das Qubit zwar gut kontrollieren kann, das Ladungsrauschen jedoch nicht an das Qubit koppelt. Hierzu gab es vor allem für den Lochspin in MOS-Qubits sowohl von der Theorie als auch vom Experiment her interessante neue Resultate.

Der Austausch während und zwischen den Vorträgen sowie bei den Kaffeepausen wurde so rege genutzt, dass die Diskussionen zwischen den Vortragsblöcken überflüssig wurden. Hierzu hat sicher der fokussierte Rahmen des WE Heraeus Fast Track Workshops beigetragen. Das Feedback der Teilnehmenden zu dem neuen Format war durchweg positiv. Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die organisatorische Unterstützung und die Finanzierung dieses erfolgreichen Workshops.

Dr. Andreas Fuhrer, IBM Research Europe, Zürich; **Prof. Dr. Guido Burkard**, U Konstanz