

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/43150> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Tarasinski, B.M.

**Title:** On periodically driven quantum systems

**Issue Date:** 2016-09-20

# Samenvatting

Topologische eigenschappen van kwantummechanische golffuncties staan momenteel sterk in de belangstelling, vooral in verband met elektronen in de vaste stof. Een recente ontwikkeling in dit vakgebied is de aandacht voor systemen die periodiek in de tijd worden aangedreven, bijvoorbeeld door een elektromagnetisch wisselveld. Doorgaans behandelt men dit externe veld niet kwantummechanisch, het is slechts een middel om de eigenschappen van de elektronen in sterke mate te variëren, en zo de topologie van de elektrongolffunctie te beïnvloeden.

Het eenvoudigste en meest gangbare model dat periodieke aandrijving kan beschrijven is de zogenaamde kwantumwandeling, het kwantummechanische analogon van de toevalswandeling ("random walk") in de klassieke mechanica. De aanwezigheid van een rijke verscheidenheid aan topologische kenmerken in een kwantumwandeling is al een tijd geleden opgemerkt, in de context van de "gebruikelijke" formulering van topologische invarianten door middel van eigenfuncties van de Hamiltoniaan. Een alternatieve formulering in termen van de verstrooiingsmatrix (S-matrix) is veel efficiënter gebleken voor niet-aangedreven systemen, en bovendien is zo'n formulering direct toepasbaar op wanordelijke systemen. In het tweede hoofdstuk van dit proefschrift (na de inleiding in hoofdstuk één) laten we zien hoe de S-matrix-aanpak toegepast kan worden op kwantumwandelingen, met dezelfde voordelen. Niet alleen is de S-matrix-aanpak nuttig voor theoretische computersimulaties, maar zij kan ook worden toegepast op optische experimenten, omdat de S-matrix een middel biedt om de topologische invariant heel direct uit een verstrooiingsexperiment af te leiden.

Er is een model dat lijkt op de kwantumwandeling, met een duidelijke onderbouwing op grond van een Hamiltoniaan met tijdsafhankelijke parameters, het zogenaamde Su-Schrieffer-Heeger (SSH) model. We verkennen in hoofdstuk drie onder welke omstandigheden de symmetrie van het statische SSH-model behouden blijft in de dynamische, in de tijd aangedreven, versie, en we geven eenvoudige uitdrukkingen voor de topologische invarianten in termen van het windingsgetal

## Samenvatting

van de tijdsevolutie-operator. We tonen aan dat dit systeem door een opeenvolging van verschillende topologische fasen kan worden geleid, eenvoudigweg door het aandrijvingspatroon aan te passen.

De aanwezigheid van een externe aandrijving kan ook een radicale verandering teweegbrengen in de invloed van kwantumruis en niet-lineaire effecten ten gevolge van de omgeving. Deze effecten kunnen in experimenten niet uitgesloten worden, en soms worden ze zelfs met opgezet aangebracht. We onderzoeken om deze reden in hoofdstuk vier een niet-lineaire variant van een kwantumwandeling, met inbegrip van termen die wrijving (relaxatie) veroorzaken. Als we in dit systeem een topologische domeinwand aanbrengen, dan vinden we dat voor sommige vormen van niet-lineariteit de topologisch beschermde gebonden toestand behouden blijft, en bovendien een speciale rol vervult als aantrekker of afstoter ("attractor/repellor") van de niet-lineaire dynamica.

De laatste twee hoofdstukken van het proefschrift behandelen iets andere vraagstukken. In hoofdstuk vijf onderzoeken we een aangedreven systeem dat in de belangstelling staat als een bron voor enkele elektronen: een zogenaamde kwantumdoos ("quantum dot") die aangedreven wordt door een tijdsafhankelijke spanning en dan één voor één elektronen of gaten injecteert in een reservoir. Ons doel is om een supergeleidende variant van dit systeem te construeren, waarbij de kwantumdoos vervangen is door een Josephsonjunctie tussen topologische supergeleiders. De geïnjecteerde deeltjes zijn nu zogenaamde Bogoliubov-quasideeltjes (een mengeling van elektronen en gaten). We leiden een expliciete uitdrukking af voor de golf functie van de deeltjes en vinden dat zowel de injectiesnelheid als de aard van de koppeling tussen Josephsonjunctie en reservoir van cruciaal belang zijn voor de bepaling van de lading van het geïnjecteerde deeltje.

In hoofdstuk zes beschrijven we tenslotte de experimentele uitdaging om de spinbaankoppeling-sterkte te bepalen van de InSb (indium-antimoon) nanodraden die momenteel zo sterk in de belangstelling staan als topologische supergeleiders en bron van Majoranadeeltjes. De sterkte van de spinbaankoppeling kan in principe gehaald worden uit de details van geleidingsmetingen die het zogenaamde "zwakke localisatie effect" vertonen. Het gaat dan om een weerstandspiek rond magneetveld nul, die soms overgaat in een dip (men spreekt dan van "zwakker antilocalisatie"). Om de gewenste informatie uit de metingen te halen is het nodig om het geheel van de elektronenpaden in de

nanodraad te beschouwen, die beïnvloed worden door het magneetveld en de spinbaankoppeling. De InSb nanodraden hebben een zeshoekige doorsnede, die we nauwkeurig in rekening hebben gebracht in een numerieke simulatie. We vonden grote afwijkingen van resultaten in de literatuur voor platte draden, in het bijzonder machts wetten met niet-heeltallige exponenten. Onze resultaten konden direct toegepast worden op magnetoweerstand-metingen in het QuTech laboratorium aan de TU Delft.

