



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Probing the limits of quantum mechanics using a cold mechanical force sensor

Plugge, J.

Citation

Plugge, J. (2025, February 18). *Probing the limits of quantum mechanics using a cold mechanical force sensor*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4194974>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4194974>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting

De samenvatting is toegankelijk gemaakt voor een breed publiek. Hierom zijn sommige zaken vereenvoudigd en zijn er geen bronvermeldingen opgenomen. De wetenschappelijk geïnteresseerde lezer wordt verwezen naar de Engelstalige introductie in hoofdstuk 1.

INTRODUCTIE

Dit proefschrift bespreekt ons werk richting een experiment waarin we een object van enkele micrometers (enkele miljoenste meters) groot op meerdere plekken tegelijk proberen te laten zijn. Volgens de kwantummechanica is het mogelijk voor kleine deeltjes, zoals bijvoorbeeld elektronen of lichtdeeltjes (fotonen), om op meerdere plekken tegelijk te zijn. Het probleem is, echter, dat zodra de positie van een deeltje, dat op meerdere plekken tegelijk is, gemeten wordt, er maar één positie uit komt. Dus hoe weten we dan dat het deeltje op meerdere plekken tegelijk is geweest?

Laten we als voorbeeld een straal elektronen nemen die één voor één op een scherm worden geschoten, met een elektronenkanon. Dit scherm zal groen oplichten op de plekken waar het geraakt is door een elektron. Als we aannemen dat de elektronen rechtdoor geschoten worden, zullen ze allemaal op dezelfde plek terecht komen en zullen we dus een ronde vlek zien.

Stel nu dat we tussen het elektronenkanon en het scherm een plaatje plaatsen dat dik genoeg is, zodat er geen elektronen doorheen zouden kunnen komen. In het midden snijden we er twee hele dunne spleetjes in die vrij dicht naast elkaar zitten. Op het moment dat er nu weer elektronen richting het scherm geschoten worden, zal er klassiek verwacht worden dat de ronde vlek nu twee vlekken naast elkaar zijn. Op de plekken waar de elektronen rechtdoor door de spleten konden, zou het scherm groen op moeten lichten. De plaatsen waar het plaatje in de weg staat, zal je verwachten dat het scherm niet groen oplicht.

Dat is echter niet wat er gebeurt. Op het scherm zal een zogenoemd *interferentiepatroon* te zien zijn, zie figuur 6.8. Dit patroon kan het beste begrepen worden vanuit onze kennis van golven. Op het moment dat twee golven samenkomen, zullen de pieken optellen tot nog hogere pieken en twee dalen zullen zorgen voor een nog

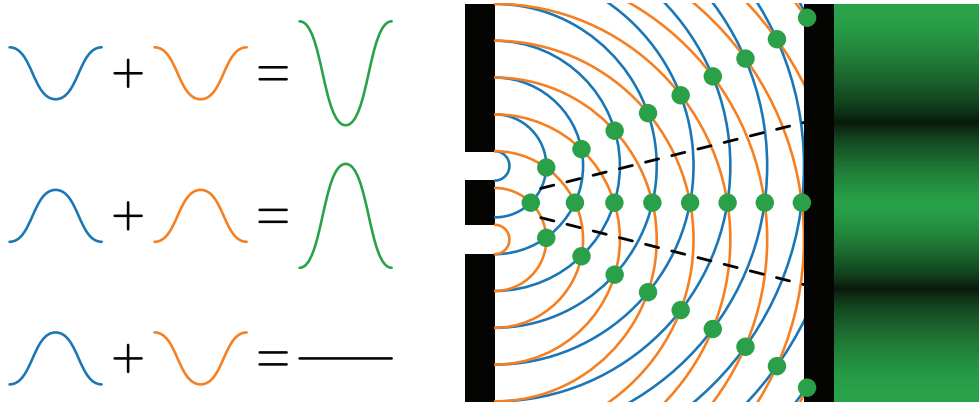


Figure 6.8: *Links* laat zien hoe pieken en dalen opgeteld worden. *Rechts* laat van boven golven zien die uit twee verschillende bronnen komen. De blauwe golf komt uit het noordelijke gat en de oranje uit het zuidelijke gat. We kijken van boven, dus de blauwe en oranje strepen laten de plekken zien waar de golven een piek hebben. Waar twee lijnen kruisen, is dus de plek waar twee pieken elkaar ontmoeten. De drie lijnen die we kunnen herkennen uit de groene stippen (horizontaal, schuin omhoog en schuin naar beneden) volgen dus de lijn waarop twee pieken of twee dalen een hogere piek of een dieper dal maken. Daar wordt het 'signaal' dus sterker. De zwarte stippellijnen laten de posities zien waar een piek precies een dal ontmoet en ze elkaar dus opheffen. Helemaal rechts is een *interferentiepatroon* te zien, dit is wat je zou zien als het beschreven experiment gedaan zou worden en je vanaf links in de richting van het scherm kijkt. Op de positie waar de groene stippen het scherm raken, zie je licht. Op de plekken waar een zwarte stippellijn het scherm raken, zie je niets.

diepere dalen. Maar zodra een piek en een dal samenkomen, zullen ze elkaar opheffen. Hierdoor zal op het scherm het patroon te zien zijn dat volledig rechts is afgebeeld in figuur 6.8.

Het interessante hiervan is dus dat dit patroon te zien is, zelfs als de elektronen één voor één richting het scherm worden geschoten. Het lijkt dus zo te zijn dat een enkel elektron zich als een golf gedraagt en wel degelijk door beide spleten tegelijk gaat. Daardoor is dat enkele elektron zowel de oranje als de blauwe golf en komt dan *willekeurig* op een plek op het scherm. Als we dan lang genoeg één voor één een elektron richting het scherm schieten, zal dit patroon ontstaan. Zo hebben we dus laten zien dat het elektron op meerdere plekken tegelijk is geweest, ook al meten we een enkel elektron maar op één plek op het scherm.

Het lijkt dus interessant om een experiment te bedenken dat vergelijkbaar is met dit interferentie-experiment. We werken richting een experiment waarin ons object van enkele micrometers groot op meerdere plekken tegelijk is, dan interactie heeft met zichzelf en vanuit die interactie een ander patroon laat zien dan je klassiek zou

verwachten. En dat is het experiment waar wij in dit proefschrift naartoe werken.

METHODE

Zoals in de introductie uitgelegd, weten wij dus al dat elektronen op meerdere plekken tegelijk kunnen zijn. Maar daarnaast weten wij dat elektronen ook meerdere eigenschappen tegelijk kunnen hebben. Elektronen kunnen gezien worden als kleine magneetjes en het is dus ook mogelijk voor een elektron om tegelijk met bijvoorbeeld zowel de noordkant naar boven als naar beneden te wijzen. Stel dat wij dan een ander magneetje in de buurt brengen, zal deze tegelijk aangetrokken en afgestoten worden. Dit is geschetst in figuur 6.9.

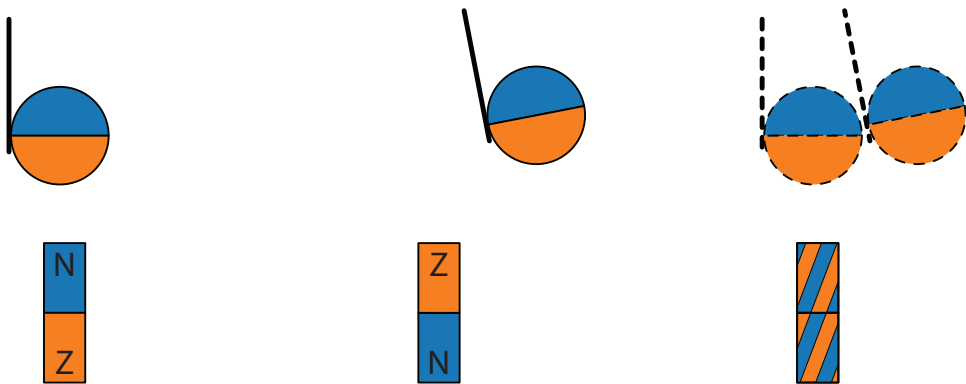


Figure 6.9: Dit is een schets van het magneetje (rond) dat aan een duikplankje (zwarte dikkere lijn) geplakt zit. Het duikplankje zit bovenaan vast en de onderkant kan vrij bewegen van links naar rechts. Onder het magneetje zit een elektron dat wij hier voor het gemak afbeelden als een rechthoekige magneet. *Links* wordt het magneetje aangetrokken omdat de noordpool (blauw) van een magneet de zuidpool (oranje) aantrekt en wordt de uitwijking dus minder. *Midden* wordt de magneet afgestoten omdat de zuidpool van het magneetje de zuidpool van het elektron afstoot. *Rechts* is het elektron in een staat gebracht waarin de noordkant (zuidkant) zowel naar boven (beneden) als naar beneden (boven) wijst, hierdoor zou het ronde magneetje dus zowel aangetrokken als afgestoten kunnen worden waardoor hij op meerdere plekken tegelijk zal zijn.

Het object dat wij dan op meerdere plekken tegelijk willen brengen zal dan dus een klein magneetje kunnen zijn. We lijmen dit magneetje vast aan een soort duikplankje dat heel makkelijk kan bewegen in één richting. Hierdoor zal het magneetje bewegen alsof het op een schommel zit. Zodra het magneetje dan aangetrokken wordt door het elektron, zal de schommel minder ver uitwijken en op het moment dat het magneetje

afgestoten wordt, zal de schommel verder uitwijken. De kracht die het elektron op het magneetje uitoefent is heel klein, ongeveer gelijk aan één miljoenste van één miljoenste van de kracht die het kost om één tiende stukje hagelslag op te tillen. Door deze hele kleine kracht zal de magneet op de schommel ongeveer één miljardste van de dikte van menselijk haar bewegen. Om dat te kunnen detecteren, is het belangrijk dat de schommel niet uit zichzelf al beweegt of dat voorbijrijdend verkeer of mensen in het gebouw de schommel zal laten bewegen.

Om de beweging die de schommel vanuit zichzelf al heeft te verlagen, is het belangrijk dat de temperatuur laag is. Temperatuur is namelijk een maat voor hoe hard iets uit zichzelf al trilt. Om laag genoeg te zijn in temperatuur, koelen wij af naar -273.149°C . Dat is één duizendste graad boven het absolute nulpunt van temperatuur, de temperatuur waarbij alles stil staat. Om zo ver te kunnen koelen, gebruiken wij koelkasten die kunnen koelen tot deze hele lage temperaturen.

De trillingen van buitenaf proberen wij zo veel mogelijk tegen te houden door een combinatie van zware objecten en springveren. De koelkast die hierboven beschreven is, staat op een betonnen blok van 30 ton dat weer op luchtkussens staat. Daarnaast hangt het experiment aan een serie van 2 kg koperen blokken die via springveren aan elkaar verbonden zijn. Aan het onderste blok hangt dan het experiment, met het idee dat op die plek de minste trillingen doorkomen.

RESULTATEN

Wij hebben in dit proefschrift laten zien dat het mogelijk is om een magneetje op een schommel af te koelen naar enkele milligraden boven het absolute nulpunt in temperatuur en dat het magneetje zich dan ook gedraagt alsof hij die temperatuur heeft. Om aan te tonen dat een slinger zo koud is, moet je laten zien dat er geen trillingen doorkomen die hem meer laten bewegen. Slechts minimale trillingen kunnen de slinger al zoveel meer laten bewegen, dat het lijkt alsof hij tien keer warmer is. De slinger gedraagt zich dan dus alsof hij warmer is dan hij eigenlijk is.

Daarnaast hebben wij een stuk diamant gekarakteriseerd door er met het magneetje in de buurt te komen. Dit diamant was gekozen omdat het heel schoon zou zijn. Het is belangrijk dat het materiaal dat wij willen gebruiken heel schoon is, want imperfecties kunnen ook een kracht uitoefenen op het magneetje. Door deze krachten zal het magneetje anders gaan schommelen dan wij verwachten en daardoor het experiment beïnvloeden.

In het laatste hoofdstuk in dit proefschrift hebben we ideeën voorgesteld om het experiment te verbeteren en hebben we een theoretische voorspelling gedaan onder welke voorwaarden het interferentie experiment zou moeten werken. Dat wil zeggen hoe groot de magneet moet zijn, hoe snel het moet trillen en bij welke temperatuur het experiment we het moeten doen. Dit geeft richting aan hoe we het experiment in de toekomst willen aanpakken.

WAAROM IS DIT NUTTIG?

Ten eerste willen wij graag weten hoe de wereld werkt. Zodra we weten hoe de wereld werkt, kunnen we modellen uitwerken die zo goed mogelijk omschrijven hoe de natuurkunde werkt. Met die modellen kunnen we vervolgens een manier zoeken om bijvoorbeeld processen efficiënter te laten verlopen, of kan er bijvoorbeeld iets uitgevonden worden om ons leven te verbeteren.

Daarnaast wordt een soortgelijke opstelling aan die wij gebruiken ook wel nanoMRI genoemd, een techniek in ontwikkeling. Dat is een methode om te zien hoe hele kleine biologische objecten in elkaar zitten zonder ze kapot te hoeven maken. Dit zou bijvoorbeeld kunnen helpen om te zien hoe eiwitten gevouwen zijn. Veel eiwitten danken hun werking aan hoe ze gevouwen zijn, dus als wij weten hoe ze gevouwen zijn, kunnen we beter begrijpen hoe ze werken. Ditzelfde geldt voor DNA.

Onze kennis van het zo stil en koud mogelijk maken van een experiment kan ook gebruikt worden door bedrijven die bijvoorbeeld met hele koude tastmicroscopen proberen kwantumcomputers te verbeteren.