

Python modellering av kvantringar i kvantprickar

Calle J. Stenberg

Mars 2021

I detta examensarbete skapas en teoretisk modell av en dubbelkvantprick med särskilda egenskaper i programmeringspråket Python. Kvantprickar har ett brett användningsområde i bland annat LEDs och i lasrar men inte minst som beräkningsenhet i kvantdatorer.

Kvantprickar har studerats omfattande och är i högsta grad aktuella i optimering och realisation av nya tekniker. Kvantdatorn anses som en potentiellt ny revolutionerande dator med förmåga att genomföra beräkningar utanför traditionella datorers kapacitet. Den grundläggande informationsenheten i en kvantdator är den kvantmekaniska korrespondenten till en bit, en qubit. En qubit består av sammanflätade kvanttillstånd som manipuleras med så kallade kvantringar och leder till mer komplexa och effektiva beräkningar.

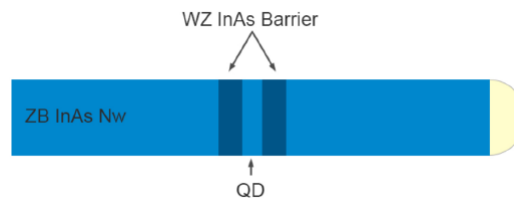


Figure 1: En illustration av hur en kvantprick kan realiseras genom att införa närliggande barriärer i en mycket tunn nanotråd av halvledarmaterial. Kvantpricken är indikerad av QD (Quantum Dot) i bilden.

Ett attraktivt sätt att realisera qubits är genom kvantprickar. Kvantpricken är en väldigt liten isolerad struktur i halvledarmaterial som kan tillverkas genom att till exempel införa närliggande barriärer i en nanotråd, se figur 1. Elektroner blir på så sätt instängda i kvantpricken och antar diskreta energinivåer, likt elektronskalen i en atom. Vilket också är därför kvantprickar ibland hänvisas till som artificiella atomer. Möjligheten att manipulera egenskaperna hos de bundna elektrontillstånden är vad som gör dem så eftertraktade. Ett exempel är att utnyttja spinegenskaperna hos elektronen. Spinnet hos elektronen kan ses som hur elektronen roterar runt sin egen axel och benämns antingen som upp \uparrow eller ner \downarrow . Spin kontrolleras traditionellt genom variationer i magnetfält för till exempel att lagra och manipulera information för kvantberäkningar. Ett annat sätt är att kontrollera spin är istället att variera materialets g -faktor med hjälp av elektriska fält. G -faktorn är en konstant som karakteriserar hur väl elektronens spin kopplar till magnetfältet. På så sätt kan spin manipuleras genom att istället hålla ett konstant magnetfält och variera elektriska fält. Elektriska fält är mycket enklare att hantera än magnetiska fält och detta sätt att kontrollera spin kan potentiellt vara en mycket värdefull egenskap.

I experiment på kvantprickar definerade i nanotrådar har stora g -faktorer uppmätts under förhållande där dom inte förväntas. Det visar sig att det under specifika elektriska fältkonfigurationer bildas kvantringar som leder till en signifikant förstärkning av g -faktorn. Utöver det hittades också så kallade Aharonov-Bohm oscillationer vilket nyligen observerats i opublicerade experimentella resultat.

Modellen som togs fram i detta examensarbete är en mer realistisk representation av det verkliga systemet än föregående teoretiska modeller och kan leda till en djupare förståelse om fysiken i dessa system. Det visar sig att vad som observerats i experiment också observeras i modellen och visar på att den underliggande fysiken är korrekt. Modellen förväntas på så sätt kunna användas som teoretiskt stärkande material i förklaring av experiment framöver.