

## Interaktioner mellan atomer i superpositionstillstånd och attosekundspulser

**Ljus-materia-interaktion** är ett brett forskningsfält inom fysik. I denna avhandling har interaktionen mellan atomer, världens byggstenar, och attosekunds ljuspulser undersökts. Atomer är uppbyggda av en kärna omgiven av elektroner. Atomens energi beror på elektronernas tillstånd. En elektron kan vara i mer än ett tillstånd samtidigt, detta kallas för ett superpositionstillstånd. En attosekund är en miljondels-miljondels-miljondel av en sekund. Det är på den tidsskalan som elektroner rör sig vilket gör det till en mycket intressant tidskala att undersöka atomer inom. Tre modeller har simulerats för att undersöka olika fenomen från den mikroskopiska till den makroskopiska världen.

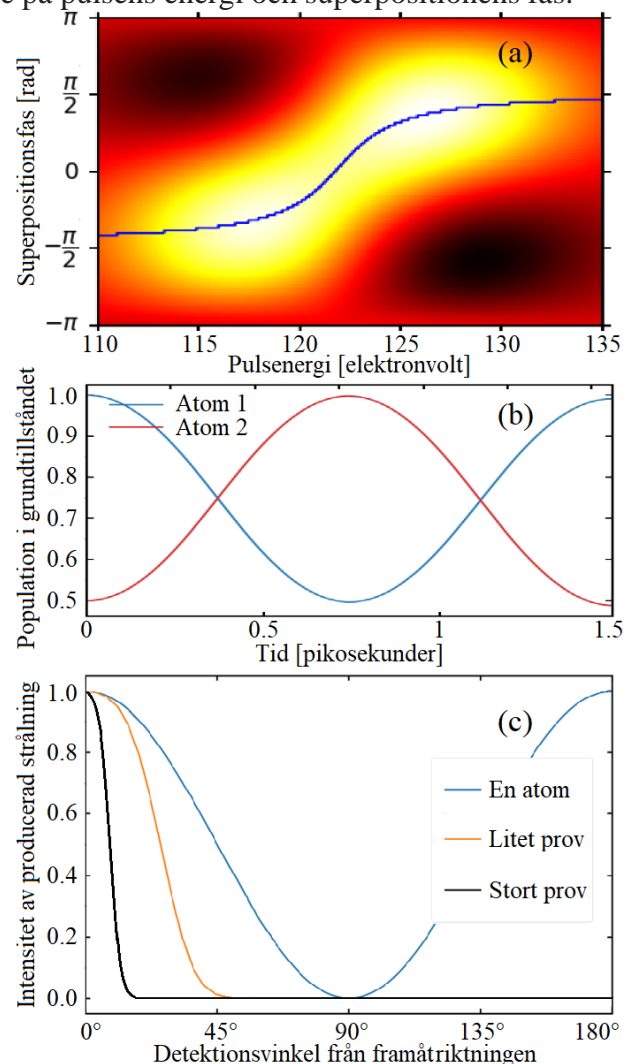
Den första modellen hanterar det mikroskopiska fallet av en atom i ett superpositionstillstånd som interagerar med en attosekundspuls. De egenskaper som undersöks är elektronens position, hastighet och acceleration i atomen. Med dessa storheter kan atomens absorption respektive utstrålning av ljus beräknas. Genom denna metod kan kopplingen mellan dessa egenskaper och atomens superposition bestämmas. I figur (a) visas absorptionen av ljus beroende på pulsens energi och superpositionens fas. Absorption visas i vitt och emission i svart.

Den andra modellen består av två kopplade atomer, undersökt på attosekunds tid. Två olika interaktioner är modellerade, dipol-dipol-interaktion som beror på elektronernas position och strålnings-interaktion som beror på elektronernas acceleration. I figur (b) visas Förster resonansenergi-överföring, en av effekterna som kan undersökas med modellen. Det är en effekt mellan dipol-dipol kopplade atomer som resulterar i oscillation av atomernas excitation på en tidskala av pikosekunder.

I den tredje modellen skickas en attosekundspuls genom ett makroskopiskt prov bestående av många atomer. Propageringen försvagar pulsen och exciterar atomerna i provet. Med denna metod kan man till exempel undersöka provets kollektiva strålningsfält. I figur (c) visas det kollektiva strålningsfältet upplöst mot detektionsvinkeln. Vinkel noll är åt hållet attosekunds pulsen rör sig. I jämförelse med strålning från en atom emitteras den kollektiva strålningen endast framåt. Större prov strålar mer kollimerat, alltså mindre spritt.

Med användning av de utvecklade modellerna kan vidare undersökningar inom ljus-materia-interaktion genomföras. Genom detta kan beteendet av kopplade atomer och prov med kollektiva effekter undersökas på tidskalan för elektronrörelse.

Handledare: **Marcus Dahlström** och **Felipe Zapata**  
Examensarbete 60 hp i fysik 2020–2021  
Fysiska institutionen, Lunds universitet



**Figur:** Resultat simulerade med de olika metoderna. I **(a)** har en-atom modellen används för att undersöka en atoms absorption. I **(b)** har två-atom modellen används för att undersöka kopplingen mellan atomer. I **(c)** har makroskopiska modellen används för att undersöka det kollektiva strålningsfältet.