

I den mikroskopiske verden kan vi ikke længere stole på Newtons ellers så fine bevægelseslove. Atomer og molekyler er derimod underlagt kvantemekanikkens naturlove, som har tendens til at være uransaglige både for nybegyndere men så sandelig også nu og da for garvede fysikere. Nu om dage kan man sågar lave eksperimenter med atomer og molekyler, som kun kan bevæge sig frem og tilbage på en linje, og selv her er der nye overraskelser gemt til de ivrige.

KVANTEFYSIKKENS URANSAGLIGHEDER

NIKOLAJ ZINNER

INSTITUT FOR FYSIK OG ASTRONOMI, AARHUS UNIVERSITET

Fysiske problemstillinger med atomer, der bevæger sig i en enkelt rumlig dimension, er af overordentlig stor betydning, da man har vist, at nogle af disse problemer faktisk tillader de såkaldt matematisk eksakte løsninger. Dvs. at man kan få svar på fysiske spørgsmål med en præcision, som i princippet er lige så god, som man måtte ønske. Det er mere undtagelsen end reglen, at der findes eksakte løsninger i kvantefysikken, og de fleste problemer løses enten ved at lave en fysisk motiveret tilnær-

melse til virkeligheden eller ved at bruge ofte meget tunge computerberegninger til at finde svar. Eksakte løsninger er yderst behændige i denne forbindelse, da man kan teste enten sine tilnærmelser eller sit computerprogram op imod den eksakte løsning for at se, om ens metode er til at stole på.

LIVET I ÉN RUMLIG DIMENSION

Vi har i løbet af det sidste års tid arbejdet intens med eksakte løsninger af nogle generelle

problemer med atomer i en dimension, som har vist sig at være dels mere indviklede, end man hidtil har troet men, heldigvis - fristes man til at sige - også mere interessante, end det var forventet. Det drejer sig konkret om atomer med meget kraftige frastødende vekselvirkninger. Disse atomer forekommer enten, som det man kalder bosoner eller fermioner. Forskellen på disse to typer er, at mens fermioner ikke er glade for at sidde tæt på hinanden, så kan bosonerne på den anden side ligefrem påskynde at være i flok. Det sidste er blandt andet det fænomen, man oplever, når man køler atomare gasser ned til meget lave temperaturer og danner det berømte Bose-Einstein kondensat. I en dimension har man hidtil troet, at fermioner og bosoner vil opføre sig næsten ens, når blot der var kraftig nok frastødning imellem atomerne.

FIGUR 1 (A)

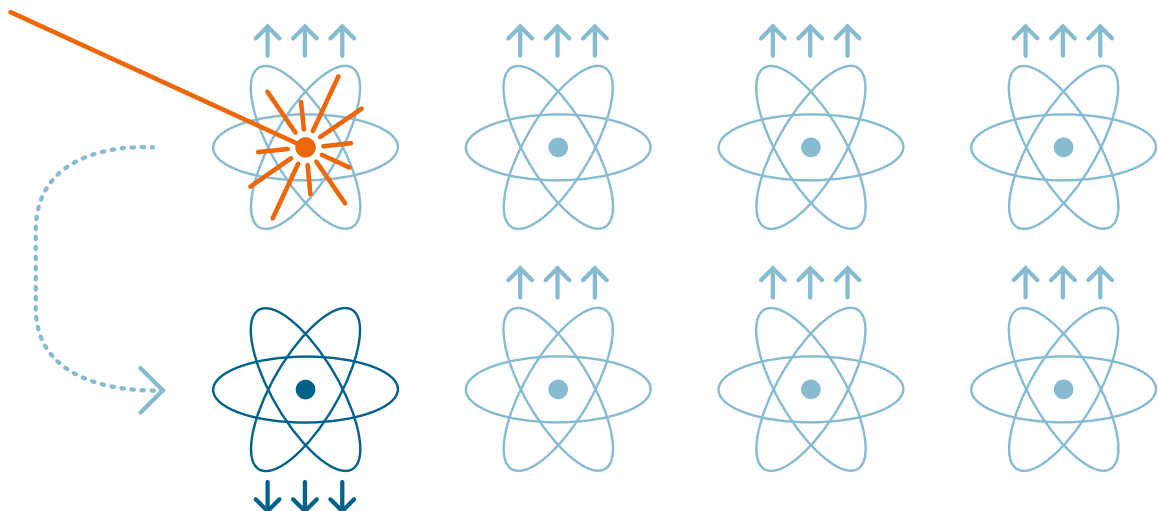
Et tænkt eksperiment hvor man starter med fire atomer, hvis magnetiske moment alle peger op. Dernæst anvender man en laserstråle (illustreret med en bølge) på atomet helt til venstre, som så får vendt sit magnetiske moment om. Det interessante er nu, hvordan systemet opfører sig, som tiden går. Specielt om den information, at et atom har fået vendt sit magnetiske moment, vil udbrede sig til den anden side af systemet. Hvis det er tilfældet, så kaldes det overførsel af kvanteinformation.

Imidlertid har vi opdaget, at der er nogle afgørende forskelle på de forskellige typer af stærkt vekselvirkende partikler, specielt i det tilfælde, hvor man tager helt små systemer og holder dem sammen i en lille fælde. I de sidste par år har en række meget omtalte eksperimenter i Heidelberg i Tyskland gjort det muligt at studere helt små systemer af nogle få fermioniske atomer i den grænse, hvor de kun får lov at bevæge sig langs en dimension. Den teoretiske

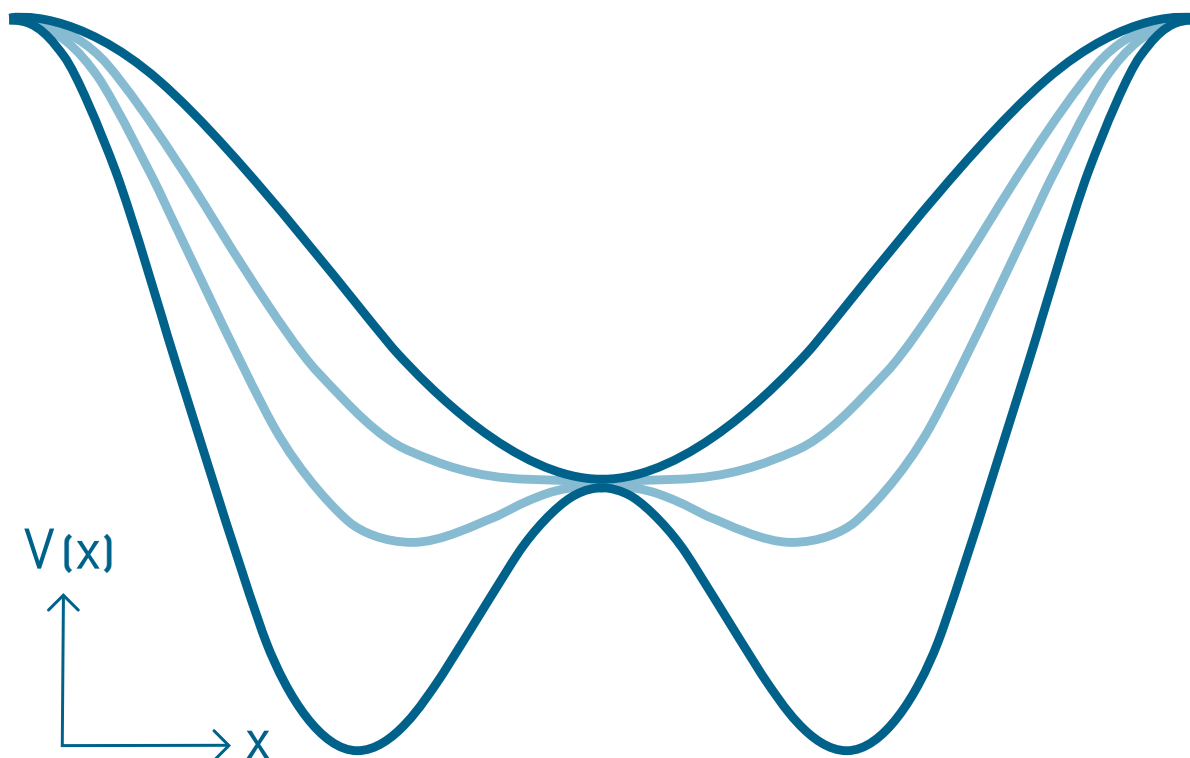
fortolkning af disse eksperimenter har hidtil ignoreret forskellen mellem, om det er bosoner eller fermioner. Vores nye teori viser ganske elegant, hvorledes der er helt afgørende forskel herpå, og hvorledes man får en mere varieret dynamik ud af at have med fermioner at gøre i den type systemer, som eksperimenterne ynder at betragte.

DYNAMISKE LYKSALIGHEDER

Denne nye teori sætter os i stand til at vende en gammel problemstilling omkring, hvorledes overførsel af information i kvantesystemer foregår i den grænse, hvor atomerne er kraftigt frastødende. Her er det en vigtig detalje, at fermioniske atomer også har et magnetisk moment, som man kan måle og manipulere. Det kan enten pege op eller ned og afbilledes typisk med en lille pil som i Figur 1(a). I figuren viser vi et lille tankeeksperiment, hvor man flipper det magnetiske moment af atomet til venstre. Derpå vil der opstå en dynamik i systemet, og informationen om, at et moment er vendt, vil brede sig. Senere kan vi så spørge, om vi ved at måle på et atom, der sidder helt ovre til højre i systemet, kan se netop det atom, som har fået vendt sit moment. Det vil svare til, at vi har flyttet atomet med flippet moment fra den ene side til den anden. Det kalder man også for en



Det er mere undtagelsen end reglen, at der findes eksakte løsninger i kvantefysikken.



'quantum bus', fordi informationen om et flippet moment er 'kørt med bussen' fra den ene side af et system til den anden.

I vores nye beskrivelse af denne type systemer har vi vist, at man kan manipulere det potentielle eller landskab, (illustreret i Figur 1(b)) som atomerne sidder i og dermed skabe en optimal bus for kvanteinformation. Denne afgørende betydning af landskabet er ikke tidligere kendt, og det åbner en masse muligheder for at lave forskellige typer af design af kvantesystemer med interessante og brugbare egenskaber. Lige

for tiden kigger vi for eksempel på små magnetiske systemer, samt hvorledes superledning mon fungerer i en rumlig dimension med kun ganske få partikler, som vekselvirker meget kraftigt med hinanden. Alt sammen spørgsmål, som man hidtil kun har kunnet give grove estimater af. Vi har med vores nye arbejde vist en vej mod at forstå disse systemer i fuld detalje. Men som altid er der ingen vej uden om hårdt arbejde og masser af knofedt. Rejsen er kun lige begyndt!

FIGUR 1 (B)

I vores nye teori har vi vist, at hvis man tager forskellige potentialer (et slags 'landskab' som atomer føler ligesom bakker og dale) så kan man radikalt ændre på systemets evne til at overføre kvanteinformation. Dette betyder igen, at man kan finde ud af, hvordan man optimerer overførslen af information i den kvantemekaniske forstand, det vil man på engelsk betegne som 'quantum engineering'.