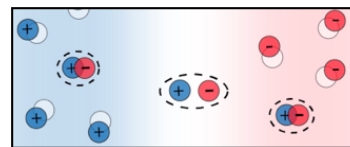


Teoretisk arbejde i CCQ afslører et rigt spektrum af kollektive fænomener i komplekse systemer med dipol-dipol vekselvirkninger. De nye resultater reviderer tidligere paradigmer om stoffers opførsel og peger på nye måder at manipulere lysets kvantetilstande på.

Vekselvirkninger mellem dipoler er afgørende for at forstå en bred vifte af elementære processer i naturen, fra biologi til kemi og fysik. I CCQ har vi for nylig undersøgt et mere eksotisk hybridsystem, der er sammensat af lys og stof - og som stadig også har stærke dipol-dipol vekselvirkninger¹. Når lys absorberes af et materiale, kan det frigøre elektroner fra de atomer, der udgør materialet. Disse elektroner kan binde sig løst til den positive ladning, de løsrev sig fra og derved danne såkaldte excitoner, som ses som faststof-modstykker til atomer. Et stærkt inhomogent elektrisk felt kan på samme tid fange og polarisere de kunstige atomer, hvilket baner vejen for en ny type af excitoner med ekstraordinært stærke dipol-dipol vekselvirkninger. Den stærke kobling af lys og excitoner fører til dannelsen af en hybrid kvantepartikel af lys og stof kaldet en polariton, og da excitoner vekselvirker via deres dipolmomenter, kunne man forvente, at polaritonerne arver noget af denne vekselvirkning. Overraskende nok viser det sig, at denne vekselvirkning i høj grad overgår mellem de dipolære excitoner. Denne opdagelse har store konsekvenser for materialets optiske egenskaber og danner grundlaget for konstruktionen af stærke optiske non-lineære effekter, der kan operere på det ultimative kvanteniveau af individuelle fotoner. Den nye indsigt kommer på et spændende tidspunkt, hvor dipolære polaritoner opdages i en række sammenhænge, fra nye klasser af todimensionelle kvantematerialer til Rydberg-excitoner, som påpeget af CCQ temaet og en række internationale samarbejdspartnere².



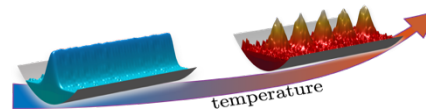
Dipolære excitoner i en semi-conductor.



Lys kan spærres inde mellem to gitre af atomer og opnå partikel-lignende egenskaber.

I dag kan vi konstruere kvantematerialer, partikel for partikel, fx. ved hjælp af optiske fælder, der begrænser individuelle atomer i regulære strukturer. Et sådant syntetisk materiale anvendes ofte til kvantesimuleringsteknologier, men kan også bruges som en lysstof grænseflade med ekstraordinære egenskaber. For eksempel kan atomer i todimensionelle gitre ikke blot sprede indkommende lys, men kan ligeledes effektivt udveksle fotoner selv på tværs af et enkelt lag. Dette genererer igen effektive dipol-dipol vekselvirkninger mellem partiklerne og får atomer til at opføre sig som en samlet enhed, med et væld af fascinerende kollektive effekter. I CCQ har vi betragtet to af disse lag³ og fundet frem til at de kan bruges som spejle i en fotonfælde til at fastholde lys over lange tider. Under deres indespærring kan fotoner opnå partikelagtige egenskaber, herunder stærke vekselvirkninger. Opdagelsen af de nye atomare spejle muliggør at observere eksotiske flydende og faste stofformer af lys, og realiseringen af optiske elementer i atomskala til at kontrollere lys, kvantum for kvantum.

De elementære magnetiske dipoler af atomer kan også føre til stærke vekselvirkninger mellem partikler af både videnskabelig og teknologisk betydning. Ultrakolde gasser fra magnetiske atomer er for nylig rykket ind i rampelyset, idet de muliggør observationen af en længe søgt eksotisk fase af stof, et såkaldt supersolid. I et superfast stof fryses atomer til et stift fast stof, men atomerne kan på samme tid frit strømme gennem krystallen uden modstand. I CCQ har vi undersøgt denne kvantetilstand ved endelig temperatur og opdaget noget usædvanligt⁴. Det er almindeligt kendt, at afkøling af en væske fører til dens krystallisering, mens opvarmning har en tendens til at få væsken til at fordampe til en gas. Ved at studere opvarmningen af en dipolar kvantevæske, fandt vi forbløffende den stik modsatte adfærd, nemlig dannelsen af et superfast materiale ved at hæve temperaturen. Resultaterne forklarer observationer fra vores eksperimentelle samarbejdspartnere ved Innsbruck Universitet og vi vil i de kommende år udforske yderligere aspekter af den usædvanlige termodynamik af dipolære kvantevæske



En dipolar kvantevæske krystalliserer når temperaturen hæves

¹ E.R. Christensen et al., *Microscopic theory of cavity-enhanced interactions of dipolaritons*, arXiv: 2212.02597 (2022).

² K. Orfanakis et al., *Rydberg-exciton polaritons in a Cu₂O semiconductor microcavity*, Nature Materials **21**, 767 (2022).

³ S.P. Pedersen et al., *Quantum nonlinear metasurfaces from dual arrays of ultracold atoms*, Phys. Rev. Res. **5**, L012047 (2023).

⁴ J. Sanchez-Baena et al., *Heating a dipolar quantum fluid into a solid*, arXiv: 2209.00335, accepted in Nature Comm. (2022).