Een optische effectbal – II

Natuurkundigen van de Universiteit van Amsterdam hebben samen met collega's uit Zürich een merkwaardig fenomeen experimenteel geverifieerd dat al door de theorie was voorspeld: een effect op atomair niveau, vergelijkbaar met de kromme baan van een voetbal die met effect wordt getrapt. De resultaten werden vorige maand gepubliceerd in het tijdschrift Physical Review Letters.

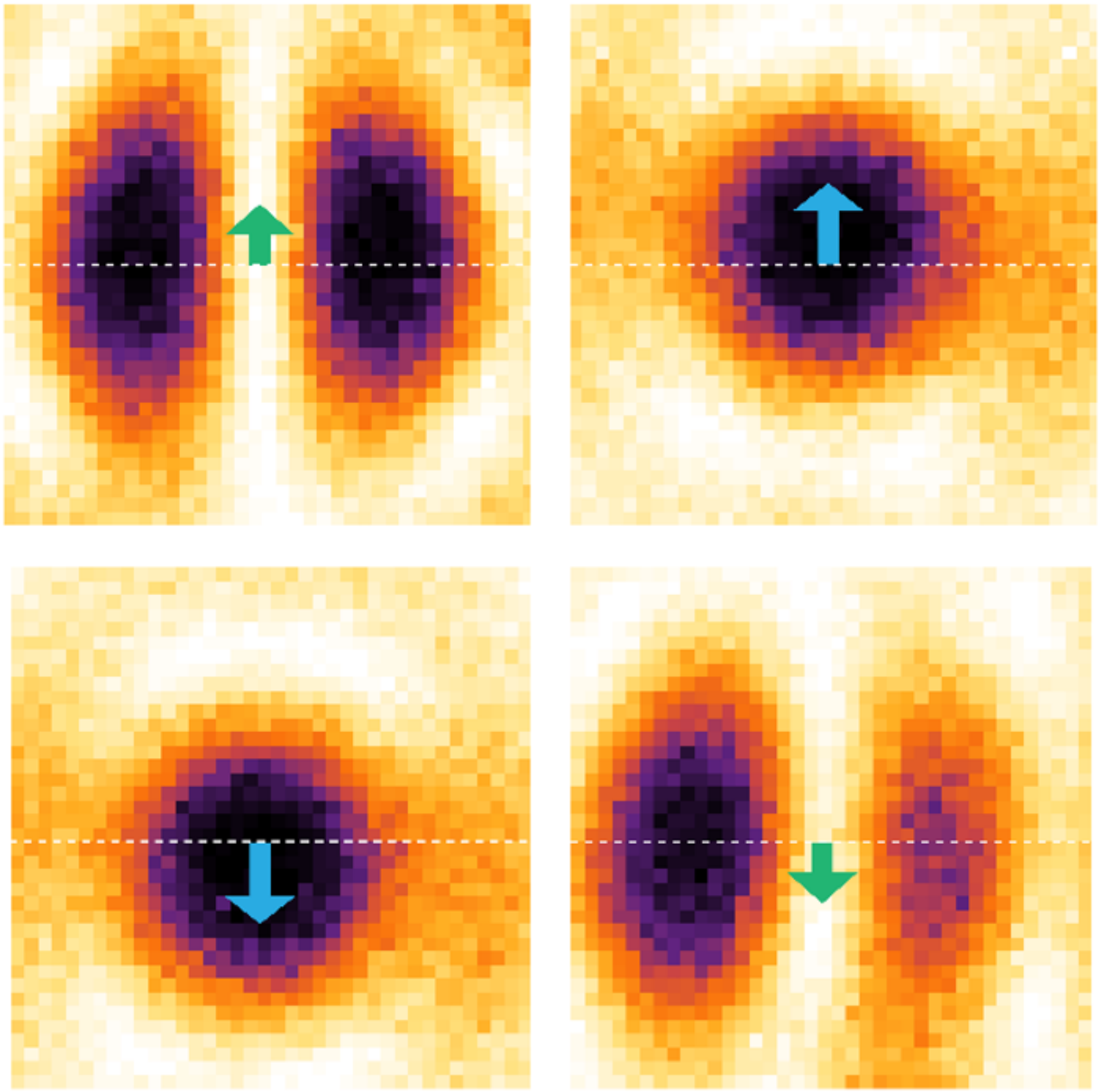
Een effectbal. Net zoals een bal soms niet op de plaats eindigt die je zou verwachten als gevolg van effect, zo vindt de interactie tussen licht en atomen ook niet altijd plaats waar je die verwacht. Afbeelding via Wikimedia Commons.

Een optische effectbal

Wanneer een voetbal met effect wordt getrapt, buigt hij door de lucht. Dit fenomeen, vertrouwd onder voetbalfans, staat bij natuurkundigen bekend als het Magnus-effect. Verrassend genoeg vertoont een atoom dat interactie heeft met een sterk gefocusseerde

laserstraal een vergelijkbaar effect: het atoom gedraagt zich als de bal, en het laserlicht vervangt de lucht waarmee de bal interactie heeft. De sterkste interactie tussen het atoom en de laser vindt iets van het middelpunt van de laser zelf plaats.

Hoewel dit optische analogon van het Magnus-effect al enkele jaren geleden werd voorspeld door UvA-wetenschapper Robert Spreeuw [1], was het tot nu toe nog niet experimenteel waargenomen. Toch is het effect relevant voor experimenten in de atoomfysica, waar sterk gefocusseerde laserstralen, of optische pincetten, worden gebruikt om atomen nauwkeurig aan te sturen voor quantumcomputing. In deze context zou het optische Magnus-effect een oorzaak kunnen zijn van *qubit-decoherentie*, het verlies van informatie die is opgeslagen in quantumbits als gevolg van hun interactie met de omgeving. Tegelijkertijd zou deze ‘bug’ ook een ‘feature’ kunnen zijn: het benutten van het optische Magnus-effect opent de deur naar nieuwe manieren om qubits te manipuleren [2].

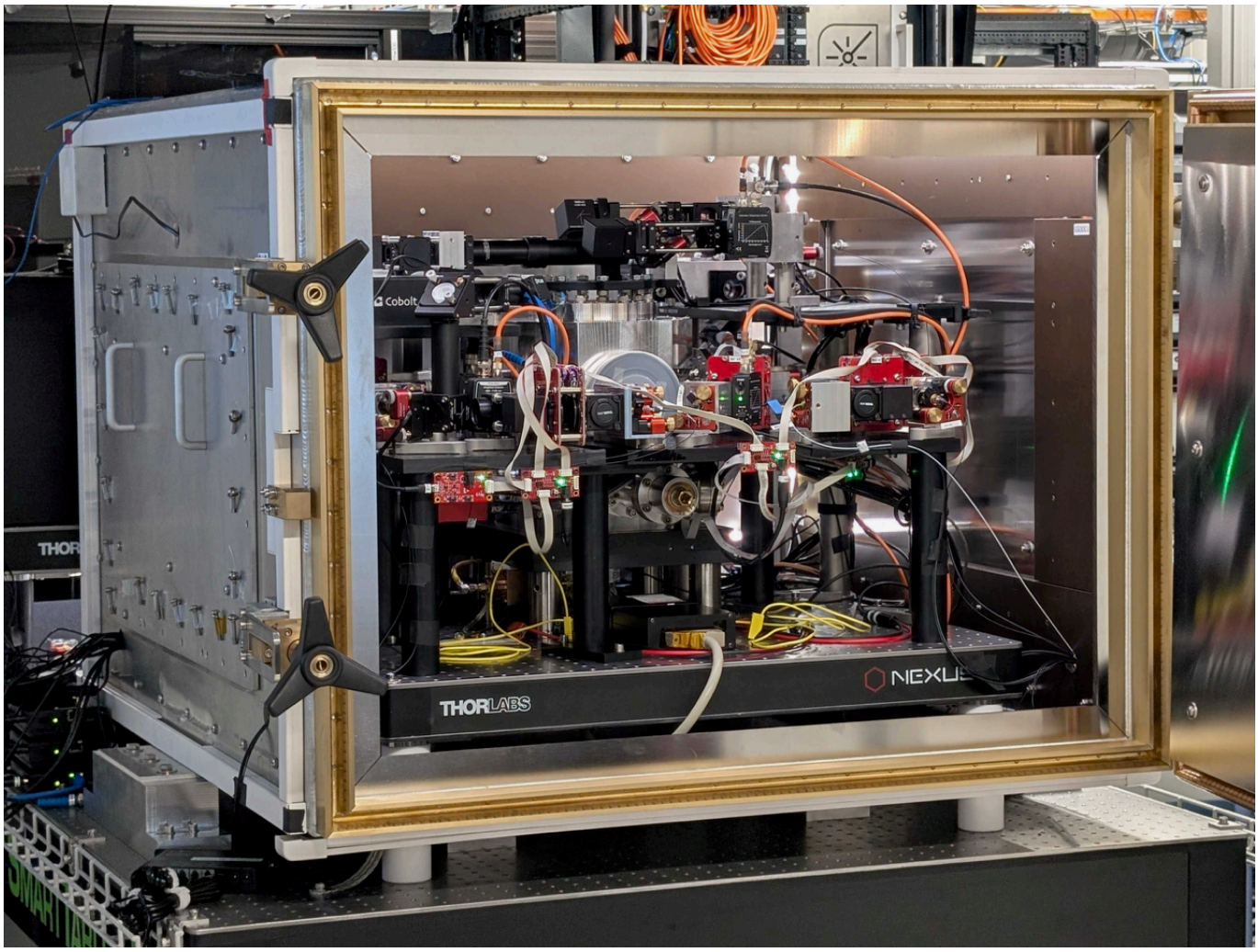


Het optische Magnus-effect. Visualisatie van waar de interactie tussen atoom en licht plaatsvindt in het experiment. Terwijl een optische pincet over het ion wordt bewogen, wordt de maximale interactie afgebogen van het midden van de lichtbundel (afbeeldingen linksboven en rechtsonder) als gevolg van het optische Magnus-effect.

Van theorie naar praktijk

In een studie die onlangs in het tijdschrift Physical Review Letters [3] werd gepubliceerd, werkten onderzoekers van het UvA- Institute of Physics samen met de Ion Trap Quantum

Computing-groep van de ETH Zürich – PSI Quantum Computing Hub aan hun experiment om het optische Magnus-effect voor het eerst te meten en te karakteriseren. Hiervoor gebruikten ze een calciumion, een enkel atoom waarvan een deel van de negatief geladen elektronen is verwijderd, als een heel gevoelige sonde voor het lichtveld in een optische pincet. Door de eigenschappen van het ion en het licht aan te passen, detecteerde het team verschuivingen in het atoom-licht-interactieprofiel van enkele honderden nanometers – duizenden keren groter dan de grootte van de calcium-“voetbal” zelf.



Het experiment. De opstelling van het experiment, met de vacuümkamer waarin de ionenval zich bevindt, en de optische systemen voor de laserlichttoevoer, afgeschermd door een metalen schild om ruis te verminderen. Afbeelding: Paul Scherrer Instituut PSI / Edgar Brucke.

Eerder theoretisch werk van het UvA-team had aangetoond hoe dit fundamentele effect ontstaat door de sterke focussering van een laserstraal [4]. Met de nieuwe experimentele

resultaten sluiten theorie en experiment nu mooi op elkaar aan, wat leidt tot een goed begrip van het optische Magnus-effect. De resultaten tonen een subtiel kenmerk van de interactie van een atoom met licht en leggen de natuurkundige basis voor toekomstig werk met optische pincetten voor quantumpoorten die in quantumcomputers kunnen worden gebruikt.

Referenties

[1] *Off-Axis Dipole Forces in Optical Tweezers by an Optical Analog of the Magnus Effect*, R. J. C. Spreeuw, Phys. Rev. Lett. 125, 233201 (2021)

[2] *Trapped ions quantum logic gate with optical tweezers and the Magnus effect*, M. Mazzanti et al., Phys. Rev. Research 5, 033036 (2023)

[3] *Direct Observation of the Optical Magnus Effect with a Trapped Ion*, P. Leindecker et al., Phys. Rev. Lett. 137, 063202 (2026)

[4] *Nonparaxial effects on laser-qubit operations*, L. P. H. Gallagher et al., Phys. Rev. Research 8, 013077 (2026)