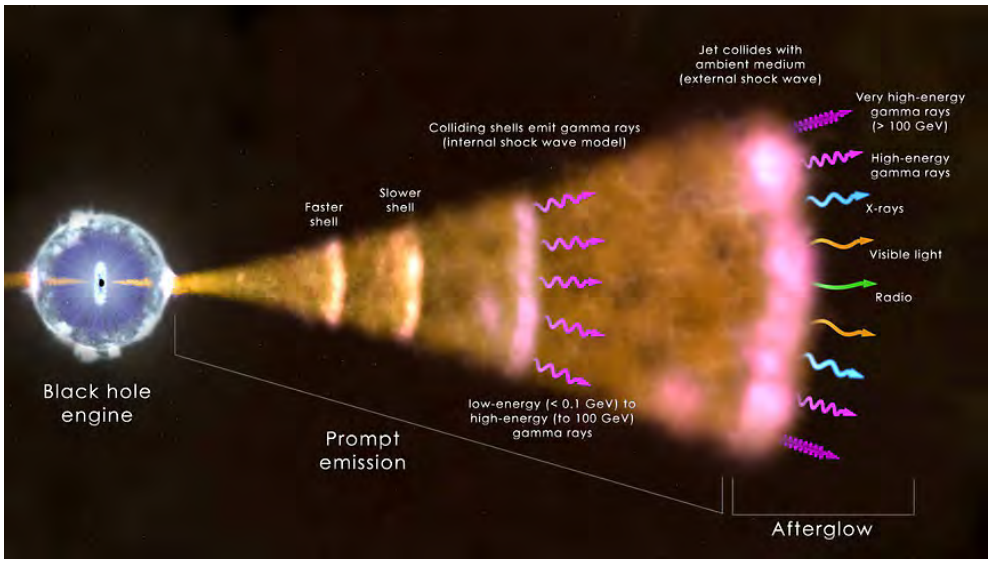
350 år efter Rømer: Lysets hastighed er stadig konstant

Christine Pepke Gunnarsson, KVANT



Figur 1. Gammastråler fra fjerne kosmiske udbrud giver en mulighed for at teste Einsteins relativitetsteori. Hvis lysets hastighed afhang af fotonens energi, ville fotoner med forskellig energi ankomme til Jorden på forskellige tidspunkter efter deres rejse gennem universet. Grafik: NASA/GSFC.

I 1676 opdagede Rømer, at lys har en endelig hastighed, og i 1865 bestemte Maxwell den til 299.792.458 m/s i vakuum. Her, 350 år efter Rømers opdagelse, har forskere testet, at lysets hastighed stadig er konstant med hidtil uset præcision ved hjælp af gammastråler fra fjerne kosmiske kilder. Hvordan de har gjort det, vender vi tilbage til. Først en kort forklaring af problemstillingen.

Før 1900-tallet troede man, at lys bevægede sig i et medium kaldet æteren. Hvis det var rigtigt, burde man kunne måle forskelle i lyshastigheden afhængigt af Jordens bevægelse gennem dette medium. Men Michelson og Morleys berømte eksperiment i 1887 viste, at der ikke var nogen målbar forskel.

I 1905 foreslog Einstein, at problemet ikke lå i eksperimenterne, men i vores forståelse af rum og tid. Han postulerede, at lysets hastighed er konstant og den samme for alle observatører. Dette kaldes Lorentz-invarians og betyder, at fysikkens love er de samme for alle observatører, der bevæger sig med konstant hastighed i forhold til hinanden.

Hvis lysets hastighed er den samme for alle observatører – uanset deres egen bevægelse – må rum og tid selv ændre sig, når man skifter referenceramme. Det viser sig blandt andet som tidsforlængelse og længdekontraktion.

Alligevel giver det stadig mening at teste, om lysets hastighed virkelig er konstant. Grunden er, at fysikkens to store teorier – den generelle relativitetsteori, der beskriver tyngdekraft og rumtid, og kvantemekanikken, der beskriver partikler og bølger – endnu ikke passer perfekt sammen. Mange teorier om kvantegravitation forudsiger små brud på Lorentz-invariansen. Et muligt tegn kunne være, at lysets hastighed afhænger svagt af fotonens energi.

Hvis det er tilfældet, vil fotoner med forskellig energi, udsendt samtidig fra en fjern kosmisk kilde, ikke nødvendigvis ankomme til Jorden på samme tidspunkt. Over kosmiske afstande kan selv ekstremt små forskelle i hastighed derfor blive målbare.

Fortsættes side 33

Kvant-nyheder

Christine Pepke Gunnarsson, KVANT

350 år efter Rømer: Lysets hastighed er stadig konstant

Fortsat fra bagsiden

I det nye studie analyserede forskerne observationer af meget højenergetiske gammastråler fra fjerne kilder i universet. Ideen er simpel: Hvis lysets hastighed afhænger af energi, burde der opstå små forskelle i ankomsttiden, som vokser med afstanden til kilden.

Forskerne kombinerede tidligere målinger af højenergigammastråler og anvendte en ny statistisk metode til at teste en række parametre, der beskriver mulige brud på Lorentz-invariansen i udvidelser af standardmodellen.

Målet var i princippet at finde en afvigelse fra Einsteins teori. Men som så mange gange før lykkedes det ikke. Forskerne fandt ingen tegn på, at lysets hastighed afhænger af energi. Til gengæld kunne de forbedre grænserne for mulige afvigelser med en faktor 10 i forhold til tidligere målinger.

Hvis Lorentz-invariansen brydes, må effekten altså være endnu mindre, end man hidtil har kunnet måle.

Diskussionen om lysets tøven er derfor stadig aktuel. Med mere præcise målinger kan forskere teste en af fysikkens mest grundlæggende antagelser – og indtil videre tyder alt på, at lysets hastighed stadig er konstant.

Kilde: M. Guerrero m.fl (2025) "Bounding anisotropic Lorentz invariance violation from measurements of the effective energy scale of quantum gravity", *Physical Review D*, bind **112**, side 104002. DOI: https://doi.org/10.1103/k3xg-wkrc.

Kvantepunkter udsender sammenfiltrede fotoner "on demand"

KVANTEMEKANIK. Forskere har vist, hvordan såkaldte kvantepunkter kan designes til at udsende kvantemekanisk sammenfiltrede (entangled) fotoner – og endda gøre det on demand, altså præcis når man ønsker det.

Et kvantepunkt er en nanometerskala struktur i et halvledermateriale, der opfører sig som et kunstigt atom med diskrete energiniveauer. Ved at designe halvledermaterialet omkring kvantepunktet kan forskere styre dets optiske egenskaber og dermed kontrollere, hvordan det udsender lys.

Sammenfiltring – eller entanglement – er en kvantemekanisk egenskab, hvor to partikler, for eksempel fotoner, deler en fælles kvantetilstand. Måler man en egenskab ved den ene partikel, bestemmer det øjeblikkeligt udfaldet for den anden, selv hvis de befinder sig langt fra hinanden. Sammenfiltring er en central ressource i mange kvanteteknologier, blandt andet kvantekryptografi, hvor den kan bruges til ubrydelig kommunikation.

Traditionelt fremstilles sammenfiltrede fotonpar i ikke-lineære optiske krystaller. Her opstår fotonpar spontant gennem en proces kaldet parametrisk nedkonvertering. Problemet er, at processen er statistisk: nogle gange produceres flere fotonpar, andre gange ingen. Man ved derfor ikke på forhånd, hvornår et par bliver udsendt, og kilden er derfor ikke on demand. Det gør sådanne kilder vanskelige at anvende i større kvantenetværk.



Figur 2. Skematisk tegning af et kvantepunkt indlejret i en optisk mikrosøjle.

Kvantepunkter kan løse dette problem. Et kvantepunkt består typisk af nogle få tusinde atomer i et halvledermateriale, men opfører sig kvantemekanisk som et enkelt atom. Når kvantepunktet belyses med en laser, kan energien excitere en elektron til en højere energitilstand og danne en såkaldt exciton. Når elektronen falder tilbage til grundtilstanden, udsendes en foton.

I det nye forsøg blev kvantepunktet indlejret i en optisk struktur kaldet en mikrosøjle. Strukturen består af flere delvist reflekterende spejle, som sender lyset frem og tilbage gennem kvantepunktet. Ved at optimere spejlenes placering kan forskerne øge sandsynligheden for, at fotonerne udsendes i den ønskede retning.

Når kvantepunktet exciteres med laserlys med en bestemt polarisation, kan det bringes i en højere energitilstand kaldet en biexciton-tilstand. Når kvantepunktet henfalder fra denne tilstand, udsendes to fotoner lige efter hinanden – og de to fotoner er kvantemekanisk sammenfiltrede.

Forskerne viste, at 98,3% af alle udsendte fotoner fra mikrosøjlen kom i sådanne par, udsendt lige efter hinanden. Fotonerne produceres dermed effektivt on demand, hvilket gør teknologien interessant som lyskilde i fremtidige kvantenetværk.

Rømer viste i sin tid, at lyset bevæger sig med en endelig hastighed. I dag undersøger fysikere stadig lyset, men nu for at udnytte dets kvanteegenskaber til informationsteknologi. Udviklingen viser, hvor meget vores forståelse af lys er vokset siden Rømers observationer i 1600-tallet.

Kilde: B. Wu m.fl. (2026) "Purcell-enhanced two-photon emission from a quantum dot via dark-state biexciton loading", *Nature Materials*, bind **25**, side 595–601. DOI: https://doi.org/10.1038/s41563-026-02522-9.