

Figur 10. Observeret spektrum af Unruhstråling.

Konklusion

Hawkingstråling og Unruhstråling er fænomener som opstår, når kvantemekanikken møder den generelle relativitetsteori. Indtil for nyligt troede fysikerne, at det var umuligt at observere disse fænomener, men de nyeste beregninger antyder, at vi allerede har observeret Unruhstråling. Dette ville være et bevis på, at Hawkingstråling fra sorte huller også eksisterer, da acceleration og tyngdekraft er intimt forbundet via Einsteins ækvivalensprincip. Den fulde teoretiske forståelse af disse fænomener må vente til vi har fundet teorien, der forener kvantemekanikken med den generelle relativitetsteori.

Litteratur

- [1] S. Hawking (1974) “Black hole explosions?”, *Nature*, bind 248, side 30–31.
- [2] T. Vachaspati, D. Stojkovic og L. Krauss (2007) “Observation of incipient black holes and the information loss problem”, *Physical Review D*, bind 76, side 024005.

- [3] S. A. Fulling (1973) “Nonuniqueness of Canonical Field Quantization in Riemannian Space-Time”, *Physical Review D*, bind 7, side 2850–2862.
- [4] P. C. W. Davies (1975) “Scalar production in Schwarzschild and Rindler metrics”, *Journal of Physics A*, bind 8, side 609–616.
- [5] W. G. Unruh (1976) “Notes on black-hole evaporation”, *Physical Review D*, bind 14, side 870–892.
- [6] P. M. Alsing og P. W. Milonni (2004) “Simplified derivation of the Hawking-Unruh temperature for an accelerated observer in vacuum”, *American Journal of Physics*, bind 72, side 1524.
- [7] B. Šoda, V. Sudhir og A. Kempf (2002) “Acceleration-Induced Effects in Stimulated Light-Matter Interactions”, *Phys. Rev. Lett.*, bind 128, side 163603.
- [8] M. H. Lynch, E. Cohen, Y. Hadad og I. Kaminer (2021) “Experimental Observation of Acceleration-Induced Thermality”, *Physical Review D*, bind 104, side 025015.
- [9] M. H. Lynch (2022) “Notes on the experimental observation of the Unruh effect”. Et essay, som er skrevet for “Gravity Research Foundations”.
- [10] T. N. Wistisen, A. Di Piazza, H. V. Knudsen og U. I. Uggerhøj (2018) “Experimental evidence of quantum radiation reaction in aligned crystals”, *Nature Communications*, bind 9, side 785.



Bernhard Lind Schistad er cand.real. fra Universitetet i Oslo. Han har været forsker i partikelfysik ved Niels Bohr Institutet og CERN og senere arbejdet med udvikling af grafiske systemer og radar. Han underviser i fysik og matematik på Midtbyens Gymnasium, Mercantec, i Viborg.

Laserstråle – breddeopgave 104 og 105

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, INM, RUC.

Her bringes løsninger og kommentar til opgaverne fra forrige nummer samt en ny opgave. Opgaverne i sidste nummer af Kvant var disse to breddeopgaver (nr. 104 og 105 her i Kvant):

Breddeopgave 104 og 105. Laserstråle

Ved hjælp af to forskellige samlelinser kan man ændre diameteren på en laserstråle. Hvordan skal de to linser placeres i forhold til hinanden? Begrund svaret.

I et laserekperiment kan det være ønskeligt at øge beamdiameteren. Dette kan gøres ved hjælp af en sprede- og samlelinse. Hvordan skal de to linser placeres i forhold til hinanden? Begrund svaret.

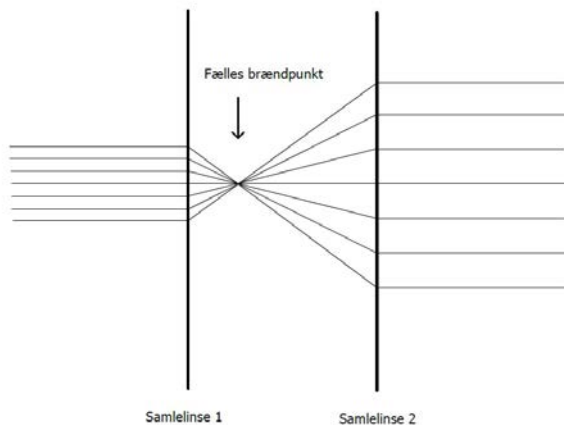
Løsninger

Løsningen til de to opgaver, der skyldes Tina Hecksher og er inspireret af en eksperimentopstilling, er i begge tilfælde, at linserne skal placeres i forhold til hinanden, så de får fælles brændpunkter. De to figurer leverer begrundelserne.

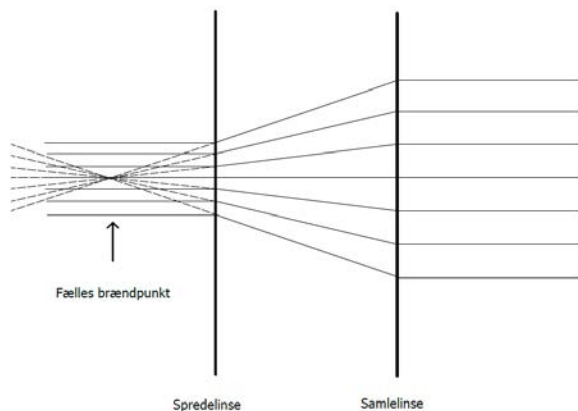
Kommentar

Selvom vi annoncerer “at lære at tænke som fysiker” som hovedformålet med breddekurset i fysik på RUC, har det også det sekundære formål at lære de studerende fysik i bredden. Til bredden hører geometrisk optik. Men stoftrængslen har kun tilladt os at berøre det ved en enkelt kursusgang på små to timer med tilhørende ca.

fire timers forberedelse med tilhørende breddeopgaver og 25 sider lærebogstekst.



Figur 1. Ændring af diameteren af en laserstråle ved hjælp af to samlelinser.



Figur 2. Ændring af diameteren af en laserstråle ved hjælp af en spredelinse og en samlelinse.

Fysikuddannelsen på RUC er nu omorganiseret og breddekurset samlet på kandidatdelen. Tidligere var det delt op i Fysisk problemløsning I på 10 ECTS-point på bachelordelen af fysikuddannelsen og Fysisk problemløsning II på 10 ECTS-point på kandidatdelen. Fysisk problemløsning I dækkede emner i mekanik, relativitetsteori, termodynamik, hydrodynamik og lidt om overfladespænding med modsvarende opgaver til eksamen. Fysisk problemløsning II dækkede, foruden repetition af pensum i Fysisk problemløsning I, elektrodynamik samt bølgelære, optik, kvantefysik, faststoffysik, atomfysik, kernefysik og partikelfysik i begrænset omfang. Eksamen var, som ved Fysisk problemløsning I, en skriftlig 4-timers prøve uden hjælpemidler, bortset fra et på begge sider beskrevet A4-ark efter eget valg. Men opgaverne blev stillet i det samlede pensum for de to problemløsningskurser.

Opgavernes sværhedsgrad ved Fysisk problemløsning II-eksamener, som de to opgaver her er fra, kunne være øget i forhold til Fysisk problemløsning I-eksamener. Formålet med de to opgaver her var imidlertid ikke at eksaminere på et løftet niveau. De var til for at sikre udfoldelsen af pensum. Hvis begreberne

strålegang og linsers brændpunkter er tilegnede, skulle de to opgaver være overkommelige. Men det var ikke altid, at de studerende overkom at orientere sig tilstrækkeligt i geometrisk optik med dets lille plads på kursuskskemaet.

Gennemgang af geometrisk optik er en god anledning til at minde de studerende om, at de nu kender til fire væsensforskellige forestillinger om lys. Den geometriske optiks forestilling om lys som stråler. Lys som bølgebevægelse af skalære størrelser tilsvarende mange andre slags bølger med tilknyttede diffraktionsfænomener. Lys som bølgebevægelse af vektorfelter med tilknyttede polarisationsfænomener. Og lys som elementarpartikler, der kan støde sammen med andre elementarpartikler.

Hvad er så lys? Stråler, bølger af forskellig slags eller partikler?

Det synes jeg, at der er to slags svar på. Det principielle og det praktiske. Principielt er lys elementarpartikler, hvis sandsynlighedsfordeling har bølgeegenskaber. Praktisk kan bølger også beskrives som lysstråler ved fx deres passage af et hul, hvis hullets diameter er større end lysets bølgelængde. Forståelsen af lys, som enten stråler, bølger af forskellig slags eller partikler, lader sig principielt rangordne. I praksis veksler fysikere mellem de forskellige forestillinger om lys, når de løser problemer.

Jeg nævner dette, fordi den erkendelsesteoretiske diskussion, med eksempler hentet fra fysik, mellem fx logiske positivister, Popper og Kuhn om, hvordan man etablerer evige og universelle sandheder, så vidt jeg kan se, ofte vildleder folk uden erfaring med fysisk problemløsning. Erkendelsesteoretiske grundlagsproblemer i fysik misforstås som udtryk for, at fysik metodisk er til forhandling, som meget andet er det. I en tid med pres på oplysningsidealene er det vigtigt at holde fast i, at ikke alt er til forhandling. Fx plejer fysiske problemløsninger at stå til troende i ret høj grad. Uanset om de er tilvejebragt ved fx at opfatte lys som stråler, bølger eller partikler. Som agnostiker, både hvad angår religion og fysik, synes jeg, at videnskabsteoriundervisning med blandt andet fysikeksempler, i stedet for at dreje sig om forskellige opfattelser af, hvordan universelle og evigtgyldige ontologiske sandheder nås, burde dreje sig om sammenligning af faktiske eksemplers forskellige grad af pragmatisk troværdighed.

Breddeopgave 106. Tycho Brahe

Inden næste nummer af Kvant udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra eksamen januar 1999, nr. 106 i rækken her i Kvant):

Tycho Brahe havde været død nogle år, da Galilei som den første tog kikkerten i brug ved astronomiske observationer. Tycho Brahes målinger blev udført ved hjælp af sigteinstrumenter og ved brug af det blotte øje. Hans målenøjagtighed var nogle få bueminutter. Er det muligt med hans metode at måle nøjagtigere end han gjorde? Begrund svaret.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer af Kvant.