

# KVANT21

novo nordisk  
foundation

Kvanteteknologi er et nationalt og internationalt indsatsområde for forskning og udvikling. Store fonde og staten investerer langsigtet milliarder i en dansk udvikling, og i udlandet går udvikling, uddannelse og gymnasieundervisning på området stærkt frem. Vi er måske lidt bagud, men nu sker der noget.

Hvis investeringerne for alvor skal gavne det danske samfund, så må der også i fremtiden være fysik- og ingeniørstuderende, som er interesserede i området. Så hvis alle indsatserne for alvor skal have gennemslagskraft, skal fremtidens studerende og forskere lære om det i gymnasiet. Med en stor bevilling fra Novo Nordisk Fonden til Fysiklærerforeningen, forskningscentret NQCP på Niels Bohr Institutet og DTU Fysik i samarbejde med de øvrige universitetsfysikmiljøer i Danmark skal der i de næste fire skoleår arbejdes målrettet for at udvikle fysikundervisningen inden for området kvantefysik og kvanteteknologi på såvel A-niveau og B-niveau på stx- og htx-uddannelserne.

*”Med dette projekt sætter fysiklærerne selv ind på at udvikle den gymnasiale fysikundervisning, så den bliver endnu mere spændende, aktuel og peger på områder med stort nationalt og internationalt fokus”* Jon Gaarsmand, formand for Fysiklærerforeningen

Målet med projektet er flersidigt.

## Undervisningskoncept og –materialer til A-niveau

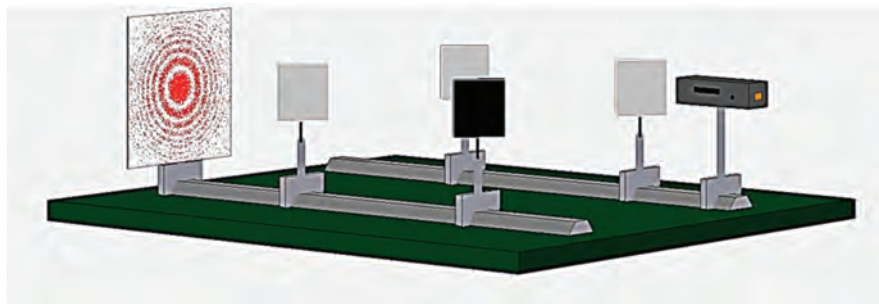
For det første skal vi udarbejde et sammenhængende undervisningskoncept, der omfatter lærebogsmateriale og et bredt udvalg af elevaktiviteter. De første to år vil udviklingsfokus være på A-niveauet, hvor vi sigter på at udarbejde et materiale, som vil kunne bruges til området *Fysik i 21. århundrede* på stx og som supplerende læsning på htx.

Vi ved endnu ikke, hvilke faglige områder og teknologier, vi kommer til at behandle, men det er væsentligt for hele projektet, at den teoretiske behandling af stoffet kombineres med såvel opgave-regning som elevernes eksperimentelle arbejde, vel at mærke med konkret udstyr og med relevante simuleringer. Et nærliggende område, som vi kan inddrage, er polariseret lys, som kvantemæssigt kan beskrives som et system med netop to forskellige tilstande, som spiller en rolle i fx Mach-Zender-interferometret.

Sådanne eksperimenter er ikke umiddelbart til at udføre med det udstyr, som er

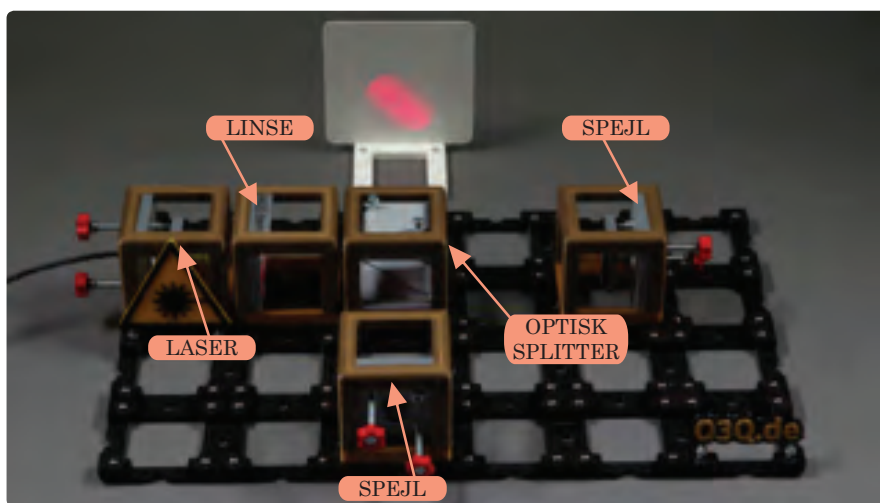
tilgængeligt i en normal fysiksamling. Det er derfor en del af projektet, at vi skal afprøve forskellige allerede tilgængelige former for udstyr. Særlig interesse knytter sig til et prisbilligt udstyr udviklet til undervisningsbrug ved Universitetet i Münster, Tyskland, men vi er nødt til at undersøge, om det er driftssikkert, og i givet fald kan bruges i tilstrækkeligt omfang i Danmark.

I forbindelse med projektet vil vi også arbejde med simuleringer af forskellige eksperimenter, eksempelvis kan det være enkeltfoton-eksperimenter, som ikke vil kunne realiseres i skolelaboratorier. Simuleringerne kan være udenlandske produkter, som vi tilpasser til dansk brug, eller måske kan vi ligefrem selv udvikle andre. Endelig vil vi prøve at fremstille nogle korte videoer, som kan bruges til inspiration i forbindelse med undervisningen, og som samtidigt måske kan vise nogle af de jobmuligheder, der er på området, gerne i samspil med nogle af de mange spinoff-firmaer, der allerede findes i landet.



Mach-Zender-interferometer – laseren sender strålen mod den forreste stråledeler, som splitter den i to stråler, der begge ved hjælp af et spejl sender mod den anden stråledeler, hvor strålerne interfererer. Tegning fra computersimulering udviklet af Albert Huber.

*Eksperimentel realisering af Mach-Zender-interferometer. Dette byggesæt, der er opbygget af 3d-printede elementer, udgør en fleksibel basis for at gennemføre mange af de eksperimenter, som er relevante for behandling af fotoners egenskaber. Udstyret er udviklet ved Universitetet i Münster / Nils Haverkamp.*



Kvanteteknologi er nært forbundet med dette i form af nye tilgange til fx kryptering, nye typer af sensorer baseret på kvantesystemer eller kvantecomputere. I projektet kommer der ikke til at være en udførlig behandling af alle disse områder, men det bliver vigtigt for os at introducere begreber, muligheder og perspektiver. Noget af det bliver nok i form af supplerende materialer, som vil kunne indgå som oplæg til projekter, talentprogrammer m.m.

### Undervisningskoncept og –materialer til B-niveau

Fokus vil i de sidste to skoleår vil være på B-niveauet, hvor vi vil arbejde med en samlet tilgang til området kvantefysik, som forhåbentlig kan fungere som inspiration i forbindelse med de tilpasninger af læreplanerne, som må forventes at ske i forbindelse med indførelse af epx i 2030. Også i denne sammenhæng skal der indgå eksperimenter og opgavevaregning.

### Efteruddannelse

En ny tilgang til undervisningen i kvantefysik vil være en udfordring for de fleste gymnasielærere, fordi den på mange måder vil bryde med vores faglige baggrund i form af bølgefunktioner, Schrödingerligningen med meget mere. Nu er fokus på kvanteinformation og behandling af

abstrakte tilstande, som direkte har forbindelse til de teknologiske anvendelser.

*”Projektet er enestående, fordi det er startet af lærersiden og retter sig mod udvikling af undervisningen ved at tilbyde såvel undervisningsmaterialer med grundfaglig viden med eksperimenter, it-støttede aktiviteter, en skriftlig dimension og teknologiske anvendelser som et efteruddannelsesstilbud, som vil sætte lærerne i stand til at gennemføre undervisningen.”* Carsten Claussen, formand for projektets styregruppe

Projektet har derfor som mål at give et markant efteruddannelsesstilbud til fysiklærerne. Der skal udvikles relevant materiale til såvel et kursusforløb som et baggrundsmateriale, der kan sikre lærerne en simpel adgang til relevant fagligt og didaktisk materiale. Vi forestiller os, at efteruddannelsen struktureres over to todages kursusforløb med en mellemliggende arbejdsperiode hjemme på skolerne, hvor man kan afprøve dele af materialerne. Efteruddannelsesstilbuddet forventes at starte med to pilotkurser i skoleåret 2026–27, nærmere betegnet foråret 2027.

### Hvem står bag?

Bag projektet står en styregruppe med initiativtager, forhenværende fagkonsulent og rektor emeritus Carsten Claussen

som formand, lektor emeritus og tidligere formand for Fysiklærerforeningen og for opgavekommissionen Gert Hansen som næstformand, lektor Kim Splittorff NQCP og lektor og medlem af Fysiklærerforeningens styrelse Jens Bang-Jensen. Som projektleder er udpeget næstformand i Fysiklærerforeningen, lektor Jeppe Willads Petersen.

### Hvad nu?

Vi vil i løbet af efteråret udsende et spørgeskema til medlemmerne af Fysiklærerforeningen for input til de nødvendige prioriteringer af indhold, udstyr, supplerende materialer og ønsker.

Vi regner med at bidrage til Sciencekonferencen i Odense 20. – 21. november, hvor vi vil præsentere projektet og lægge op til diskussion om indhold og muligheder.

Projektet har et sådant omfang, at vi også skal have flere fysiklærere involveret i såvel udarbejdelse af materialer til undervisning og efteruddannelse som udvikling af eksperimenter, videomaterialer, simulationer og meget mere. Hvis du har interesse for at være med til noget af dette, så send gerne en epost til Carsten Claussen, [carstenclaussen@outlook.dk](mailto:carstenclaussen@outlook.dk)