



**Uddannelses- og
Forskningsministeriet**

Prækvalifikation af videregående uddannelser - kvanteinformationsvidenskab

Udskrevet 23. november 2024

Kandidat - kvanteinformationsvidenskab - Københavns Universitet

Institutionsnavn: Københavns Universitet

Indsendt: 31/01-2022 09:56

Ansøgningsrunde: 2022-1

Status på ansøgning: Godkendt

[Afgørelsesbilag](#)

[Samlet godkendelsesbrev](#)

[Download den samlede ansøgning](#)

[Læs hele ansøgningen](#)

Ansøgningstype

Ny uddannelse

Udbudssted

København

Informationer på kontaktperson for ansøgningen (navn, email og telefonnummer)

Kristine Schultz Olsen, kso@science.ku.dk, 35324202

Er institutionen institutionsakkrediteret?

Ja

Er der tidligere søgt om godkendelse af uddannelsen eller udbuddet?

Nej

Uddannelsestype

Kandidat

Uddannelsens fagbetegnelse på dansk

kvanteinformationsvidenskab

Uddannelsens fagbetegnelse på engelsk

Quantum Information Science

Angiv den officielle danske titel, som institutionen forventer at bruge til den nye uddannelse

Cand. scient. i kvanteinformationsvidenskab

Angiv den officielle engelske titel, som institutionen forventer at bruge til den nye uddannelse

Master of Science (MSc) in Quantum Information Science

Hvilket hovedområde hører uddannelsen under?

Naturvidenskab

Hvilke adgangskrav gælder til uddannelsen?*Retskravsbachelor til uddannelsen*

Ingen bacheloruddannelser har retskrav til denne kandidatuddannelse.

Direkte adgangsgivende uddannelser

Følgende bachelorgrader er direkte adgangsgivende til kandidatuddannelsen:

- Matematik, fysik, datalogi, machine learning og datavidenskab fra Københavns Universitet
- Fysik, matematik og datalogi fra Syddansk Universitet
- Fysik, matematik, datalogi og datavidenskab fra Århus Universitet
- Fysik, matematik, datalogi og datavidenskab fra Ålborg Universitet
- Cyberteknologi, Fysik og nanoteknologi, Kunstig intelligens og data, Matematik og teknologi, Softwareteknologi fra DTU
- Data Science fra IT-Universitetet i København
- eller tilsvarende nordiske og internationale bacheloruddannelser

Adgangskrav for øvrige uddannelser

Ansøgere med en bachelorgrad fra øvrige danske, nordiske eller internationale universiteter kan optages på kandidatuddannelsen, såfremt ansøgeren kan dokumentere, at uddannelsen indeholder følgende:

- Mindst 120 ECTS inden for matematik, fysik og/eller datalogi.

Dette krav er nødvendigt, da uddannelsen forudsætter en baggrund enten indenfor matematik, fysik eller datalogi, svarende til en bachelorgrad.

Sprogkrav til uddannelsen

Engelskkundskaber på et niveau svarende til gymnasiets 'Engelsk B' med et samlet gennemsnit på mindst 3 eller 'Engelsk A' med et samlet gennemsnit på mindst 2 på den danske karakterskala eller bestået IELTS Academic, TOEFL, Cambridge Advanced English eller Cambridge English: Proficiency (CPE) test. Minimumscore: IELTS 6.5, TOEFL IBT 83, CAE/CPE levels C1 or C2.

Er det et internationalt samarbejde, herunder Erasmus, fællesuddannelse el. lign.?

Nej

Hvis ja, hvilket samarbejde?

Hvilket sprog udbydes uddannelsen på?

Engelsk

Er uddannelsen primært baseret på e-læring?

Nej, undervisningen foregår slet ikke eller i mindre grad på nettet.

ECTS-omfang

120

Beskrivelse af uddannelsens formål og erhvervsigte. Beskrivelsen må maks. fylde 1200 anslag

Formålet med uddannelsen er at uddanne kandidater med ekspertise i kvantevidenskab funderet i matematik, fysik og datalogi, som har både teoretiske, teknologiske og eksperimentelle kompetencer. Uddannelsesprofilen adskiller sig fra eksisterende uddannelser ved at uddanne tværfaglige kandidater i kvantecomputere, informationsteori og kommunikation. Uddannelsen vil danne bro mellem på den ene side det teknologiske og eksperimentelle, og på den anden side det teoretiske og analytiske beregningsaspekt af kvanteinformation.

En rivende udvikling er i gang inden for kvanteinformation, ny kvanteteknologi og innovation, og det er nødvendigt at sikre kvalificeret arbejdskraft i Danmark indenfor området. EU har investeret en milliard euro i kvanteområdet, og mange internationale og danske virksomheder har stort fokus på, hvad kvanterevolutionen kan føre til både inden for kryptering, beregninger, kommunikation og simulering. Med uddannelsen sikres tværfaglige kandidater, der kan udnytte mulighederne i den nye kvanteteknologi. Kandidater i Quantum Information Science vil få stærke tværfaglige kompetencer indenfor kvanteinformationsteori, -teknologi, -algoritmer, -beregninger og -simuleringer.

Uddannelses struktur og konstituerende faglige elementer

Uddannelsen er forankret på KU og udbydes i fællesskab med DTU.

Det må forventes, at de studerende på den nye kandidatuddannelse i Quantum Information Science (QIS-MSc) kommer med forskellige forudsætninger, alt efter om de har en baggrund i datalogi, matematik eller fysik. Der er taget hensyn til dette i uddannelsens opbygning. Uddannelsen er opbygget så 1. semester er på KU og 2. semester er på DTU. På 2. år kan undervisningen være på begge universiteter.

Uddannelsen består af 90 ECTS konstituerende fagelementer, heraf 20 ECTS obligatoriske fagelementer og 25-40 ECTS begrænset valgfrie fagelementer (liste 1, 2, 3) afhængig af specialets størrelse på 30 eller 45 ECTS, samt 30 ECTS valgfrie fagelementer (se kassogrammer i bilag 1).

Obligatoriske fagelementer

Introduction to Quantum Information Science (KU - 7,5 ECTS)

Kurset er nyt og skal udvikles. Undervisningen foregår på både DTU og KU. Det vil have en identitetsskabende funktion og være indføring i de problemstillinger, hvor kvanteinformation er relevant.

Kurset skal være baseret på 3 cases, som skal belyse relevansen fra fysik og datalogi-synsvinklen. Mindst en case skal indeholde et eksperimentelt aspekt.

Introduction to Quantum Computing (KU – 7,5 ECTS)

This course will provide an introduction to the field of quantum computing and information, covering a variety of topics ranging from computation and cryptography to foundations of quantum physics. Once familiar with the fundamentals, we will explore current research topics and discuss how quantum phenomena give rise to new algorithms for machine learning, quantum computational supremacy, cryptographic schemes with unprecedented security guarantees, and device-independent protocols.

Applied Quantum Physics: Quantum Information Technology (DTU - 5 ECTS)

Kursets målsætning er at give en indgående indsigt i fysikken og principperne bag en række forskellige kvanteinformations-teknologier, praktiske aspekter vedrørende implementering og anvendelse af disse samt værktøjer til at analysere og vurdere deres ydeevne. Kurset giver således et solidt fundament for videre studier og forskning inden for kvanteteknologi.

(1) Begrænset valgfrie fagelementer (mindst ét kursus skal bestås):

Quantum Information Theory (KU - 7,5 ETCS)

Mathematical formalism of quantum information theory: Review of Probability Theory and Classical Information Theory (Random Variables, Shannon Entropy, Coding). Formalism of Quantum Information Theory (Quantum States, Density Matrices, Quantum Channels, Measurement).

Quantum versus Classical Correlations (Entanglement, Bell inequalities, Tsirelson's bound).

Basic Tools (Distance Measures, Fidelity, Quantum Entropy).

Basic Results (Quantum Teleportation, Quantum Error Correction, Schumacher Data Compression).

Quantum Resource Theory (Quantum Coding Theory, Entanglement Theory, Application: Quantum Cryptography).

Physical Implementation of Quantum Information Processing (KU - 7,5 ETCS)

Nyt kursus. The course will give an introduction to the physics of various advanced platforms for quantum information processing, including: superconducting, semiconductor, and atomic systems. It will cover physical implementations of qubits as well as quantum operations and protocols, including quantum computation, quantum communication and quantum simulation. Additionally the course will discuss obstacles to practical implementations, including decoherence.

(2) Begrænset valgfrie fagelementer (mindst to kurser skal bestås):

10386 Experimental Techniques in Quantum Technology (DTU – 5 ECTS)

Undersøgelse af kvanteteknologier eksperimentelt, særligt med fokus på optiske teknologier. Dette inkluderer en forståelse af hvorledes kvantetilstande genereres, detekteres og karakteriseres. Der vil specielt være fokus på håndtering og eliminering af teknisk støj, der uundgåeligt er til stede i ethvert eksperiment og udvasker de subtile kvanteeffekter.

Quantum Compilers (DTU – 5 ECTS)

Nyt kursus. Based on classic compiler-theory and quantum information, this course will cover the components needed to develop a quantum compiler, which can translate a high-level programming language into quantum circuits and mapping these circuits onto the qubits of the target quantum computer architecture.

Quantum Algorithms and Machine Learning (DTU – 5 ECTS)

Nyt kursus. A wide variety of data analysis and machine learning methods are operated by Performing matrix operations on vectors in a high-dimensional vector space, which is the mathematical foundation of quantum computation. This course introduces some basic background knowledge of classical machine learning and explores how quantum machine learning can be developed.

(3) Øvrige begrænset valgfrie fagelementer:

NMAK1008U Functional Analysis (KU – 7,5 ECTS)

The course covers a number of fundamental topics within the area of Functional Analysis.

Analysis in Quantum Information Theory (AnQIT) (KU – 7,5 ECTS)

Nyt kursus. Operator algebraiske metoder anvendt på problemstillinger i kvanteinformationsteori.

NFYK15003U Advanced Quantum Mechanics (Quant3) (KU – 7,5 ECTS)

The course is a graduate level in quantum mechanics with emphasis on providing the students with tools to understand the advanced courses within the quantum branch of the master program. The introductory undergraduate quantum mechanics curriculum is reviewed and expanded with emphasis on important concepts such as symmetries, approximate methods, scattering theory, and second quantization. It introduces the use of propagators and density matrices, applied to physical examples. Relativistic quantum mechanics is also introduced.

NFYK15007U Condensed Matter Experiments (KU – 7,5 ECTS)

The course provides an introduction to selected techniques used in experimental condensed matter physics, with a focus on low-temperature physics, cryogenic techniques, and electron transport phenomena at low temperatures. The intention is to prepare the student for graduate level course work and experimental research in the fields of low-temperature solid state physics, quantum transport, and the characterization of semiconducting and superconducting quantum devices. The students will learn key concepts that are essential in these fields and, more generally, have advanced our understanding of the interplay between properties of materials on the mesoscopic scale and the quantum engineering of advanced functional electronic devices.

NFYK10017U Condensed Matter Theory 1 (CMT1) (KU – 7,5 ECTS)

This course is an introduction to quantum field theoretical methods aimed for both experimentalists and theorists with particular focus on condensed matter physics. The content spans a wide range of topics necessary for understanding concepts and methods used in advanced solid state physics. Finally, the course provides a good foundation for the course CMT2 and for doing active research in condensed matter physics at the Niels Bohr Institute.

In the course, we focus on the interacting electron gas, describing metals and semiconductors, and use this as an example to illustrate the techniques taught. The course is meant to teach the fundamental field-theoretical concepts and techniques such as second quantization, equations of motion for operators, many-particle Green functions at finite temperatures, and Feynman diagrams.

NDAA09023U Advanced Algorithms and Data Structures (KU – 7,5 ECTS)

The course covers a list of algorithmic topics: Graph algorithms such as max flow, data structures such as van Emde Boas Trees, NP-completeness, exponential and parameterised algorithms for NP-hard problems, approximation algorithms, randomised algorithms, computational geometry, linear programming, and optimisation.

NDAK15007U Machine Learning (KU – 7,5 ECTS)

The purpose of the course is to introduce students to the basic theory and most common techniques of statistical machine learning. The students will obtain a working knowledge in statistical machine learning.

01227 Graph Theory (DTU - 5 ECTS)

The main aim of this course is to present to the students some basic results and proof techniques in graph theory, in particular in connection with networks algorithms.

02233 Network Security (DTU - 5 ECTS)

Basic network security in LAN and WAN environments; Protocols for client-server communication in high risk environments; Web vulnerabilities; Secure communications to ensure confidentiality, authenticity and integrity. Security architecture: firewalls and DMZs. VPN, proxies, intrusion detection and protection systems (IDS/IPS), TOR, Signal, audit and analysis of attacks.

02180 Introduction to Artificial Intelligence (DTU – 5 ECTS)

The aim is to provide the student with an understanding of basic notions and techniques in artificial intelligence (AI) and to train the student's abilities to apply these techniques. The focus of the course is primarily on symbolic artificial intelligence, in particular techniques based on search and logic.

34042 Quantum Photonic Communication (Kvantefotonisk kommunikation) (DTU – 5 ECTS))

Kurset har tre hovedformål:

1. At gøre den studerende klar til fremtidens teknologi indenfor informationsoverførsel – Kvante Internettet.
2. At udstyre den studerende med basal og avanceret viden om denne teknologiske platform:
 - o Fundamentet for kvanteinformationsoverførsel
 - o Kvantekommunikationsprotokoller – fra de mest lovende løsninger til de nyeste opfindelser
 - o Større udfordringer i feltet
3. At give den studerende hands-on erfaring med vigtige eksperimenter som viser kvantefysikkens natur:
 - o Kvantelyskilde
 - o To-foton interferens
 - o Kvante entanglement (sammenfiltring)

10302 Electronic Structure Methods in Material Physics, Chemistry and Biology (DTU – 10 ECTS)

Giver indblik i moderne elektronstrukturmetoder inden for teoretisk fysik med særlig vægt på beskrivelser af materialer, molekyler og biomolekyler på det atomare niveau.

Bemærkninger til kurser

Vi vil styrke informations- og vejledningsindsatsen af de studerende med anbefalede kursusforløb i forbindelse med udrulning af uddannelsen. De studerende vil også få tilbud om at få tildelt en mentor, der kan vejlede i valg af kurser og individuelt uddannelsesforløb med udgangspunkt i den enkelte studerendes faglige baggrund og interesser. Særligt for uddannelsen er også muligheden for at lave virksomhedsprojekter, enten som en del af de valgfrie elementer og/eller som speciale i samarbejde med en virksomhed, hvilket styrker de studerendes karrierespørgsmål og faglige netværk.

Ligesom der er flere veje ind i studiet, rummer studiet også flere muligheder for fokus under uddannelsen fra det teoretiske i datalogisk, matematisk eller fysisk retning til det teknologiske eller eksperimentelle.

Uddannelsens forskningsmæssige basering

Den nye kandidatuddannelse i kvanteinformationsvidenskab vil være baseret på de stærke faglige miljøer på Institut for Matematiske Fag (MATH), Niels Bohr Institutet (NBI) Datalogisk Institut (DIKU) på Københavns Universitet og DTU Compute, DTU Fotonik og DTU Fysik på Danmarks Tekniske Universitet.

KU og DTU er epicentre for den nationale forskningssatsning inden for kvanteområdet med bl.a. KU centrene Q-Dev (DG Centre of Excellence), Hy-Q (DG Centre of Excellence), QMATH (VILLUM Centre of Excellence), NNF-centrene Quantum for Life og Solid-Q, og Quantop (VILLUM Investigator) samt DTU Centrene BigQ (DG Centre of Excellence), SPOC (DG Centre of Excellence), NanoPhoton (DG Centre of Excellence) og NATEC (VILLUM Centre of Excellence). Desuden er der på DIKU den stærke satsning inden for algoritmer ved centret BARC (VILLUM Investigator) og det nye AI Pioneer Centre. Forskningen ligger i krydsfeltet mellem datalogi, fysik og matematik og skaber et behov for kandidater, der har dyb indsigt i f.eks. kvanteinformationsteori, kvantekryptering, kvantekommunikation og machine learning og samtidig kan forstå de muligheder den nye kvanteteknologi giver for at skabe værdi i samfundet. På sigt kan det også være relevant at styrke samarbejdet med en ansættelse enten på KU eller DTU af en person affilieret med det andet universitet. Underviserne på uddannelsen vil være aktive forskere, og i mange tilfælde vil den nyeste forskning blive inddraget.

Kompetenceprofil for uddannelsen (afsnittet er på engelsk, da det udgør udkast til engelsksproget studieordning).

Students following the MSc Programme acquire the knowledge, skills and competences listed below. Students will also acquire other qualifications through elective subject elements and other study activities. On completion of the programme, a MSc in Quantum Information Science has acquired the following:

Knowledge about:

- Key theoretical disciplines, principles, methods and concepts in quantum information science.
- Relevant interdisciplinary research-active fields within mathematics, physics and computer science.
- Technological methods in quantum information science experiments.
- Methods in quantum computing including protocols, applications, and algorithms.
- Literature, terminology, and research methods within quantum information science.
- Understanding of the interaction between quantum information science, mathematics, physics and computer science.

Skills in/to:

- Read and understand quantum information science original research literature.
- Account orally and in writing for inquiries into open quantum information science issues.
- Transforming quantum theory into quantum technology or quantum algorithms.
- Understand the basic setup of experiments in quantum information science.
- Assess potentials in technological and algorithmic quantum developments.
- Select, combine, and where appropriate develop or refine theories and methods, and use these to make a significant contribution to solving quantum information science problems or to promote a scientific understanding of the problems.
- Evaluate a proposed solution to a problem within quantum information objectively and systematically, and – where appropriate involving experiments – analyse the areas in which the solution is successful and unsuccessful, and identify its weaknesses, strengths and consequences.
- Communicate quantum information science and technology issues on a scientific basis.
- Documenting own research results and discoveries in a manner that meets the requirements for academic publications.

Competences in/to:

- Use and combine mathematics, physics and computer science to develop quantum information solutions.
- Master elements of multiple disciplines in particular mathematics, physics and computer science and being well versed in the methodology of quantum information science.
- Apply scientific theory and methodology in context of quantum information science.
- Acquire a comprehensive overview of complex scientific contexts, identify and analyse the computational or information-processing problems arising in such contexts, and decompose or transform the problems into a form amenable to solution by relevant quantum information science methodology.
- Acquire hands-on experimental experience with building blocks of quantum information processing.
- Work with others, both by playing an active role within research teams and/or industry by working closely with fellow students.
- Acquire new knowledge in an efficient and systematic manner and familiarise oneself with evolving quantum information science subject areas at a high scientific level.
- Working on the thesis and being involved in the day-to-day operations of a research team will provide graduates with solid experience of a research environment's different methods and forms of work.

Begrundet forslag til takstindplacering af uddannelsen

Uddannelsen foreslås indplaceret på heltidstakst 3 taxameterniveau, hvor kandidatuddannelserne i Physics og Computer Science og de teknologiske uddannelser på DTU også er indplaceret. Heltidstakst 3 foreslås, da det vil være nødvendigt med øvelser i mange af kurserne. Her tænkes både på eksperimentelle øvelser, samt computerøvelser, hvor det er afgørende at have undervisningsassistenter til at interagere med de studerende. Adgang til laboratorier og computational adgang er omkostningstungt.

Forslag til censorkorps

Censorkorps i fysik

Dokumentation af efterspørgsel på uddannelsesprofil - Upload PDF-fil på max 30 sider. Der kan kun uploades én fil

QIS_Bilag til prækvalifikationsansøgning.pdf

Kort redegørelse for det nationale og regionale behov for den nye uddannelse. Besvarelsen må maks. fylde 1800 anslag

Ifølge en grundig analyse af potentialet af danske investeringer i kvanteteknologier foretaget af Industriens Fond (link i bilag 5) er der i Danmark et behov for at udvide det danske kvanteøkosystem og skabe et dansk quantum community. Analysen fra Industriens Fond estimerer også en yderst markant mulig vækst af markedet for kvanteteknologier i Danmark. Kandidatuddannelsen i Quantum Information Science vil bidrage afgørende til væksten ved at sikre arbejdskraft med den rette faglige kerneprofil. Det er højaktuelt med den nye satsning på kvanteteknologi og kvantecomputing i budgettet for forskningsreserven i 2022 og den opfølgende kortlægning af kvanteområdet i Danmark. I denne sammenhæng bør det nævnes, at de deltagende institutioner i den foreslåede uddannelse er stærkt repræsenteret i det nyligt etablerede Danish Quantum Community.

Den rivende udvikling af kvanteteknologier har medført et nyt behov for en dedikeret kandidatuddannelse, der kan sikre kandidater med de nødvendige kvalifikationer til at arbejde med kvanteteknologier i danske virksomheder.

Inden for det private erhvervsliv kan dimittenderne ansættes som:

- Udvikler af nye kvantealgoritmer til optimering af komplekse beregninger.
- Udvikler af systemer og komponenter til kvanteinformationsbehandling
- Del af sikkerhedsenhed f.eks. inden for kvantekryptering.
- Konsulent f.eks. i forbindelse med udnyttelse af kvanteinformationssystemer, kvantesensorer og kvantesimuleringer.
- Del af startup virksomheder inden for kvanteinformationsteknologi
- Selvstændig opstarter af ny virksomhed.

Derudover vil dimittenderne også kunne ansættes i forskningsmiljøer inden for og med relation til kvanteinformationsvidenskab.

Uddybende bemærkninger

Uddannelsen vil blive udbudt på engelsk. Det vil forberede de studerende på, at arbejds sproget for hovedparten af færdige kandidater i kvanteinformationsvidenskab vil være engelsk. Undervisningen vil derved styrke de færdige kandidater og gøre dem parate til det danske arbejdsmarked. Desuden er al relevant litteratur på engelsk både hvad angår undervisningsmateriale og al anden faglitteratur. Det er vigtigt, at de studerende kan orientere sig i et internationalt miljø og deltage i det internationale undervisnings- og udvekslingssamarbejde for både studerende og undervisere. Ud over at rekruttere studerende fra de eksisterende bacheloruddannelser på KU inden for matematik, fysik og datalogi herunder specielt bacheloruddannelsen i machine learning og datavidenskab, og studerende med en bachelorgrad fra DTU og andre danske universiteter, sættes der også på at rekruttere fra tilsvarende internationale bacheloruddannelser. Desuden vil det lette rekrutteringen af undervisere, at uddannelsen er engelsksproget og derved medvirke til at højne det faglige niveau på uddannelsen.

Da der internationalt sættes kraftigt på kvanteområdet også uddannelsesmæssigt (se bilag 2) er det vigtigt, at Danmark er med i denne internationale konkurrence også som et tilbud til de danske studerende, der naturligt vil være interesseret i at forfølge en karriere inden for det hurtigt voksende kvanteområde. Her bør det bemærkes, at andre tilsvarende uddannelser ikke findes i Danmark. Hvis ikke mulighederne findes i DK, vil de studerende naturligt søge mod udlandet.

Underbygget skøn over det nationale og regionale behov for dimittender. Besvarelsen må maks. fylde 1200 anslag

Ca. 25 dimittender. Som behovsanalysen angiver, vurderer 66% af respondenterne, at deres virksomhed vil være interesseret i at ansætte kandidater, når de første færdiguddannede kandidater kommer ud på arbejdsmarkedet i 2025. Flere virksomheder angiver et eksplicit behov for kandidater, og 10% af respondenterne angiver konkret behov for over 10 kandidater fra 2025 og frem. Flere respondenter uddyber, at de ser kvanteområdet i stærk vækst og et behov for kandidater, der kender feltet i stor videnskabelig dybde og kan samarbejde på tværs af fagligheder, både teknisk, teoretisk og kommunikativt. Når de kan hinandens videnssprog, vil de også kunne danne nye broer i virksomhederne. I de uddybende interviews fremhæver flere, at de allerede nu har svært ved at besætte ledige stillinger inden for kvanteområdet med talentfulde kandidater med relevante tværfaglige uddannelser og kompetencer. Virksomhederne oplever en stigende efterspørgsel på kandidater til opgaver som risikovurdering og svindel inden for finans, pharmaindustrien og research and development (R&D). Det er især færdigheder inden for algoritmer og computerdelen, som mange virksomheder efterspørger.

Hvilke aftagere har været inddraget i behovsundersøgelsen? Besvarelsen må maks. fylde 1200 anslag

Spørgeskema til afdækning af behovet for de nye kandidater i Quantum Information Science (QIS-MSc) er udsendt til aftagerpanelet på DTU, Aftagerpanel for Fysik, Kemi og Nanoscience og Aftagerpanel for Matematik og Datalogi på KU samt et mindre antal udvalgte potentielle aftagere. Spørgeskemaet er sendt til i alt 70 potentielle aftagere, og i alt 32 aftagere har besvaret spørgeskemaet. Svarprocenten er 47% efter udsendelse og en påmindelse. 3 potentielle aftagere af de nye kandidater fra KPMG, Teknologisk Institut og NKT Photonics har deltaget i uddybende interviews. Sammenfatning af behovsanalysen fremgår af bilag 3.

Forud for spørgeskemaundersøgelsen har vi indsamlet tilbagemeldinger fra potentielle aftagere af de nye kandidater: Den første feedback er meget positiv og har bekræftet, at den nye kandidatuddannelse i Quantum Information Science vil være en relevant tilføjelse til uddannelseslandskabet i Danmark. Det forventes, at erhvervslivet vil have høj efterspørgsel på de nye kandidater (se bilag 4).

Hvordan er det konkret sikret, at den nye uddannelse matcher det påviste behov? Besvarelsen må maks. fylde 1200 anslag

Processen omkring udviklingen af uddannelsesforslaget har involveret en række repræsentanter fra både DIKU, NBI og MATH på KU og DTU Compute, DTU Fysik og DTU Fotonik. Disse repræsentanter har hver især god erfaring med de eksisterende BSc og MSc uddannelser i henholdsvis datalogi, fysik og matematik. Herudover har uddannelsesforslaget været behandlet i diverse aftagerpaneler og hos en række af de relevante aftagervirksomheder, som beskrevet ovenfor. Med henblik på at afklare egentlige problemstillinger har vi blandt andet indhentet svar på et spørgeskema omhandlende uddannelsen, som vi løbende har justeret for at udbedre problemstillingerne.

Det fremgår af behovsanalysen, at virksomhederne efterspørger tværfaglige kompetencer indenfor kvanteområdet, og kandidaternes evner til at arbejde tværfagligt, hvilket er kernen i uddannelsen. Derudover nævnes eksplicit evnen til at vurdere potentialet i den teknologiske og algoritmiske kvanteudvikling. Disse kompetencer udvikles eksplicit i kursernes sammensætning

Beskriv ligheder og forskelle til beslægtede uddannelser, herunder beskæftigelse og eventuel dimensionering. Besvarelsen må maks. fylde 1200 anslag

Den nye kandidatuddannelse i Quantum Information Science har en unik profil i krydsfeltet mellem fysik, matematik og datalogi. Som angivet i kompetencebeskrivelsen går den nye uddannelse på tværs af de eksisterende uddannelser på KU og DTU. Andre tilsvarende uddannelser findes ikke i Danmark, og som tidligere nævnt vil det ikke være muligt at opnå samme profil ved en justering af de eksisterende uddannelser. Der er ingen dimittendledighed indenfor de datalogiske, matematiske og fysiske uddannelser. Desuden fremgår det af behovsanalysen, at arbejdsmarkedet efterspørger kandidater, der har de helt specielle tværfaglige kompetencer, som den foreslåede uddannelse sigter mod.

Uddybende bemærkninger

-

Beskriv rekrutteringsgrundlaget for ansøgte, herunder eventuelle konsekvenser for eksisterende beslægtede udbud. Besvarelsen må maks. fylde 1200 anslag

QIS-MSc vil rekruttere fra BSc uddannelser på KU inden for matematik, fysik og datalogi, specielt BSc i machine learning og datavidenskab. QIS-MSc er også relevant for ansøgere med en BSc grad fra DTU og tilsvarende nationale og internationale BSc grader. DTU kan ikke udelukke, at QIS-MSc kan have konsekvens for rekrutteringen til deres MSc uddannelser i Fysik og nanoteknologi, Fotonik, Matematisk modellering og computing samt Informationsteknologi.

BSc uddannelserne i datalogi, matematik og fysik (KU) vil parallelt med udviklingen af QIS-MSc udvikle anbefalede bachelorforløb, der leder frem mod optag på QIS-MSc. Forløbene vil øge synlighed af QIS-MSc allerede ved de studerendes valg af bacheloruddannelse og vil med den store opmærksomhed feltet har, højst sandsynligt være en stærk motiverende faktor for valg af disse BSc uddannelser.

Vi oplever allerede stigende interesse fra gymnasiet ift. inspiration og vejledning i kvanteområdet specielt ifm. større SRP-opgaver i 3g. Vi forventer, at den nye stærke uddannelsesprofil vil tiltrække flere studerende til STEM-uddannelserne og øge samlet antal ansøgere til MSc uddannelserne i matematik, fysik og datalogi på KU og DTU inkl. QIS-MSc.

Beskriv kort mulighederne for videreuddannelse

Dimitterende har gode muligheder for at fortsætte i ph.d.-forløb og forskningsforløb i virksomheder, både nationalt og internationalt.

Forventet optag på de første 3 år af uddannelsen. Besvarelsen må maks. fylde 200 anslag

Minimum 25 studerende på 1. og 2. år af uddannelsen og minimum 30 studerende på 3. år. Formodentlig en stigning til ca. 50 studerende årligt over en 5-årig periode, når uddannelsen er konsolideret.

Hvis relevant: forventede praktikaftaler. Besvarelsen må maks. fylde 1200 anslag

Øvrige bemærkninger til ansøgningen

Uddannelsen og det internationale aspekt

Uddannelsen indeholder et mobilitetsvindue, der gør det muligt for de studerende at aflægge op til 30 ECTS valgfrie kurser/begrænset valgfrie kurser ved et udenlandsk universitet som udveksling.

Israel: Vi har allerede været i dialog med både forskningsattachéen i Israel og med israelske uddannelsesinstitutioner om muligt uddannelsessamarbejde. Det vil være naturligt at udbygge de Erasmus samarbejdsaftaler, som KU med deltagelse af bl.a. MATH har etableret med Tel Aviv University og Hebrew University of Jerusalem.

Tyskland: Det vil også være naturligt at udnytte vores Erasmus-samarbejdsaftaler med universiteterne i München, som udvikler lignende uddannelser.

Mht. rekruttering af betalende internationale studerende vil vi specielt fokusere på Indien, Brasilien og USA, hvor det er planen at involvere forskningsattachéerne i at udbrede viden om den nye uddannelse til de mest relevante potentielle studerende. Vi har allerede været i kontakt med forskningsattachéen i Israel med henblik på en eventuel udvekslingsaftale med tilsvarende uddannelser i Israel.

Medlemmer af arbejdsgruppen til udvikling af den nye kvanteuddannelse deltager også i 2 EU pilotprojekter under QTedu (link i bilag 5).

Hermed erklæres, at ansøgning om prækvalifikation er godkendt af institutionens rektor

Ja

Status på ansøgningen

Godkendt

Ansøgningsrunde

2022-1

Afgørelsesbilag - Upload PDF-fil

A1 Godkendelsesbrev.pdf

Samlet godkendelsesbrev - Upload PDF-fil

A1 Godkendelsesbrev.PDF

Bilagsdokument til prækvalifikation

Indhold

Bilag 1 Kassogrammer	2
Bilag 2 Kvanteuddannelser i udlandet	3
Bilag 3 Behovsanalyse.....	4
3.1 Indledning	4
3.2 Spørgeskemaanalyse	4
3.3 Uddybende interviews.....	10
3.4 Respondenter i behovsanalysen	13
Bilag 4 Feedback fra potentielle aftagere	14
Bilag 5 Links.....	15

Bilag 1 Kassogrammer

Kassogram for speciale på 45 ECTS

År	Blok 1 (KU)	Blok 2 (KU)	Blok 3 + 4 (DTU)
1	Introduction to Quantum Computing (IQC)	Introduction to Quantum Information SCIENCE (IQIS)	Applied Quantum Physics: Quantum Information Technology (QITech) (5 ECTS)
			Begrænset valgfri (5 ECTS)
	Begrænset valgfri	Begrænset valgfri	Begrænset valgfri (5 ECTS)
	Begrænset valgfri	Begrænset valgfri	Valgfri
2	Valgfri	Speciale	

Kassogram for speciale på 30 ECTS

År	Blok 1 (KU)	Blok 2 (KU)	Blok 3 + 4 (DTU)
1	Introduction to Quantum Computing (IQC)	Introduction to Quantum Information SCIENCE (IQIS)	Applied Quantum Physics: Quantum Information Technology (QITech) (5 ECTS)
			Begrænset valgfri (5 ECTS)
	Begrænset valgfri	Begrænset valgfri	Begrænset valgfri (5 ECTS)
	Begrænset valgfri	Begrænset valgfri	Begrænset valgfri
2	Valgfri	Speciale	

Bilag 2 Kvanteuddannelser i udlandet

Der er etableret uddannelser på kandidatniveau i kvanteteknologi eller Quantum Computing på en række universiteter bl.a. i USA, Holland, Tyskland, Sverige og Schweiz, se nedenfor

Sammenfattende dokument om internationale kvanteuddannelsesaktiviteter: “[Achieving a quantum smart workforce](#)”

ETH Zurich – Master in Quantum Engineering <https://masterqech/>

University of Wisconsin-Madison – Masters programme in Quantum

Computing <https://news.wisc.edu/first-cohort-of-students-dives-into-new-quantum-computing-masters-degree/>

KTH Stockholm – Masters programme in Engineering Physics – Quantum Technology track <https://www.kth.se/en/studies/master/engineeringphysics/tracks/quantum-technology-1.927577>

TU Delft – Quantum Computing er et af emnerne på TU Delft’s Computer Engineering retning <https://www.tudelft.nl/eemcs/the-faculty/departments/quantum-computer-engineering/>

Fælles uddannelse på LMU og TUM München: MSc Quantum Science & Technology https://www.en.physik.uni-muenchen.de/studying/degree_programs/qst/index.html

Australian National University – Master of Science in Quantum

Technology: <https://science.anu.edu.au/study/masters/master-science-quantum-technology>

Harrisburg University of Science and Technology – Quantum Info Science

Program: <https://harrisburgu.edu/hu-to-launch-quantum-information-science-concentration/>

University of Wisconsin-Madison – Master's in Physics-Quantum Computing

(MSPQC): <https://wp.physics.wisc.edu/graduate/mspqc-prospective-students/>

University of Rhode Island – MS in Quantum Computing: https://web.uri.edu/facsen/files/5.a.1_GC_Report-19-20-10_PHY_report-w-app.pdf

The University of New South Wales (UNSW) -

[undergraduate degree in Quantum Engineering:](#)
<https://eur02.safelinks.protection.outlook.com/?>

Duke University: MS Quantum Computing Concentration [\[RECORDING\]](#)

University of Waterloo: Masters Quantum Information specialization program [\[RECORDING\]](#)

Indiana University Bloomington: QIS MS Degree [\[RECORDING\]](#)

University of Strathclyde (Glasgow): MSc Quantum Information & Coherence [\[RECORDING\]](#)

The Australian National University, Canberra: Master of Science in Quantum Technology [\[RECORDING\]](#)

UCL: Quantum Technologies MSc [\[RECORDING\]](#)

University of Queensland: Master of Quantum Technology [\[RECORDING\]](#)

RWTH Aachen University: Master study-track on Quantum Technology [\[RECORDING\]](#)

University of the Basque Country: Master in Quantum Science and Technology [\[RECORDING\]](#)

Three universities and one photonics research institute: Universitat Politècnica de Catalunya (UPC);

University of Barcelona: Master Studies in Optics and Photonics [\[RECORDING\]](#)

Harrisburg University of Science and Technology: MS ISEM, Quantum Computing Concentration [\[RECORDING\]](#)

University of Bristol: MSc Optoelectronic and Quantum Technologies [\[RECORDING\]](#)

University of Sussex: Quantum Technology MSc [\[RECORDING\]](#)

Derudover er Technion i Haifa, Israel, kommet meget langt med at udvikle både en BSc and MSc i Quantum Science and Technologies under det nye Helen Diller Quantum Center.

Bilag 3 Behovsanalyse

3.1 Indledning

Udviklingen af kvanteteknologier er globalt forankret, og de danske aftagere har behov for medarbejdere, der kan gøre sig gældende i et internationalt arbejdsmiljø. Internationale analyser ([The Quantum Ecosystem and its Future Workforce – https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/phvs.202000044](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/phvs.202000044)) har identificeret behovet for at uddanne tilstrækkeligt med kandidater som en 'kvante flaskehals' der vil stå i vejen for den mulige eksponentielle vækst af markedet hvis der ikke uddannes flere med de rette kvalifikationer.

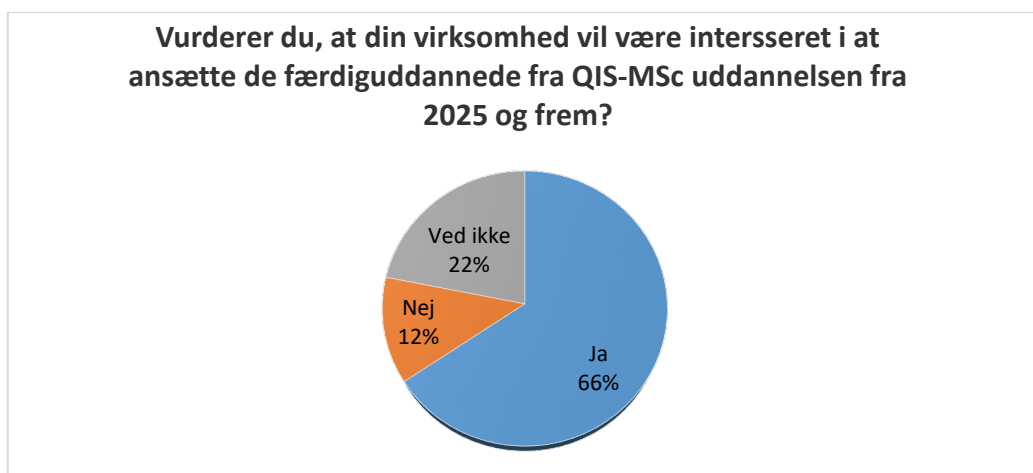
3.2 Spørgeskemaanalyse

Spørgeskemaet til afdækning af behovet for de nye kandidater i Quantum Information Science (QIS-MSc) er udsendt til aftagerpanelet på DTU og aftagerpanelerne for fysik og datalogi/matematik på KU samt et mindre antal udvalgte potentielle aftagere. Spørgeskemaet er sendt til i alt 70 potentielle aftagere, og i alt 32 aftagere har besvaret spørgeskemaet. Svarprocenten er 47% efter udsendelse og en påmindelse.

Ansættelse

Som det fremgår af diagrammet nedenfor, vurderer 66% af respondenterne, at deres virksomhed vil være interesseret i at ansætte de nye kandidater, når de første færdiguddannede kommer ud på arbejdsmarkedet i 2025.

Tabel 1



I kommentarfeltet uddyber flere af respondenterne:

- *Vi ser dette som et område med stærkt stigende aktivitet, og vi har behov for kandidater. der kender feltet i stor videnskabelig dybde* (Christian Poulsen, NKT Photonics)
- *Hvis den rigtige kandidat er tilstede, men generelt ansætter vi kun folk med en ph.d.* (Mikael Lassen, Dansk Fundamental Metrology A/S)
- *Vi forventer at QIS feltet vil udvikles i en sådan grad, at der vil være behov for at GTS undersøger, hvilke konkrete applikationer feltet vil have anvendelse i, og dette vil kræve et begrænset kompetent beredskab hos os* (Juan Farré, Teknologisk Institut)
- *Vi ser stigende interesse fra de virksomheder vi rådgiver. Derudover ligger KPMG's globale quantum hub hos os i KPMG Danmark* (Troels Stenstrup, KPMG)
- *Vi har et stigende behov for at kunne håndtere stadig større datamængder/databaser* (Morten Jørgensen, Leo Pharma)

- *Det er selvfølgelig svært at spå om fremtiden, men jeg har svært ved at se at kvantekryptering ikke bliver en integreret del af telekom (Jeppe Christiansen, TDC net)*
 - *Det er nok en langsom start, men jeg er helt overbevist om at dette blive en del af hverdagen i high tech virksomheder om 5-10 år (Jesper Manigoff, 3Shape A/S)*
 - *DMI arbejder med avanceret fysisk modellering, herunder afvikling af modeller på sin supercomputer. DMI er således interesserede i kandidater inden for matematisk og fysisk modellering (Morten Thaarup, DMI)*
- Respondenter, der har svaret *nej* eller *ved ikke* til at ansætte de færdiguddannede kandidater, uddyber deres svar med, at de er en lille virksomhed, eller de ikke har tilstrækkelig indsigt i den nye uddannelses muligheder. Andre uddyber:

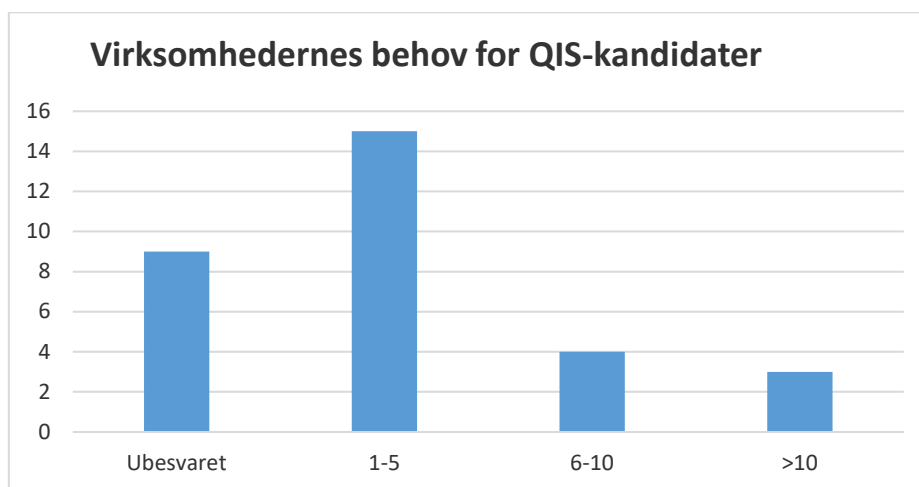
- *Det tror jeg umiddelbart ikke, men udviklingen kan måske tage et kvantespring, så behovet opstår (Ole Fogh Olsen, Demant).*
- *Uklart, hvad de skal bruges i forsikring til - men måske er der noget vi overser her? (Bjørn Sandqvist, Tryg Forsikring)*

Omfang

Diagrammet nedenfor illustrerer respondenternes vurdering af deres virksomheds behov for at ansætte de færdiguddannede kandidater fra QIS-MSc uddannelsen fra 2025 og frem.

Lodret akse i tabellen afspejler antal respondenter og vandret akse antallet af kandidater.

Tabel 2

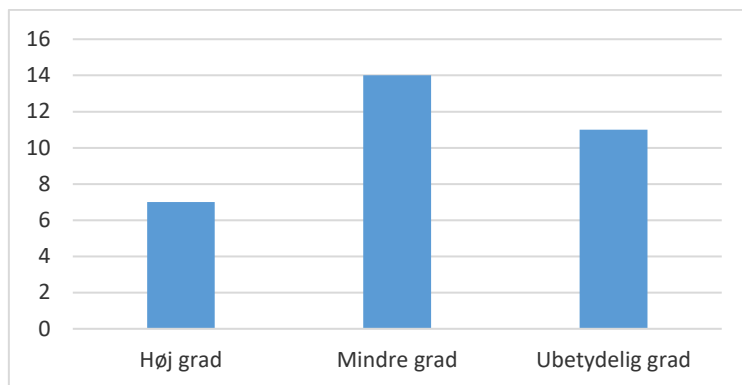


Kompetenceprofilen

Søjlediagrammet nedenfor afspejler besvarelserne på spørgsmålet:

I hvilken grad vurderer du, at QIS MSc uddannelsen er afgørende for at kunne få opfyldt din virksomheds behov for nyansættelse indenfor kompetenceprofilen i 2025 og frem?

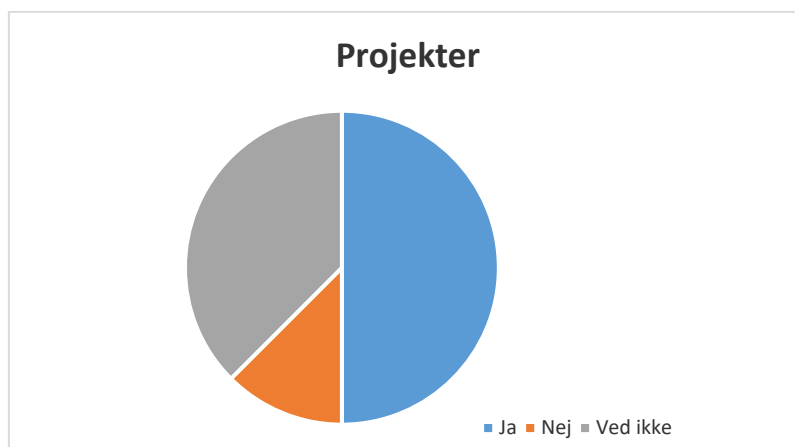
Tabel 3



Projektsamarbejde

50% af respondenterne vurderer, at deres virksomhed gerne vil indgå i projekter med studerende fra QIS-MSc uddannelsen fra 2023, når uddannelsen forventes at blive implementeret.

Tabel 4



Flere uddyber i kommentarfeltet:

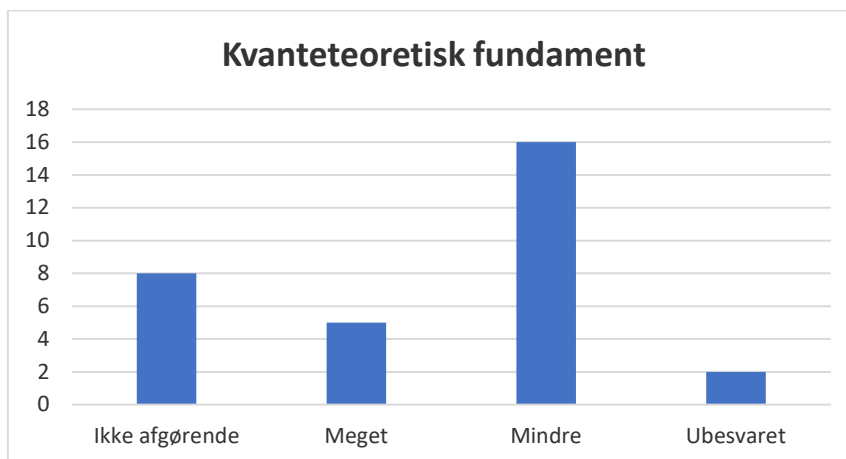
- *Vi vil super gerne lave master/PhD samarbejder, samt fælles projekter (Christian Poulsen, NKT Photonics)*
- *Som GTS institut samarbejder vi de fleste af de danske universiteter omkring bl.a. kvante- tek og ser det derfor som en naturlig konsekvens også at have kvantekandidater til at lave speciale hos os (Mikael Lassen, Danske Fundamental Metrologi A/S)*
- *Et projekt med en QIS-MSc studerende vil skubbe os til at komme feltet "på klingen" og få en konkret fornemmelse om, hvornår feltet har en udslagsgivende anvendelsespotentiale i nogle af de mange applikationer som vi servicerer. Det er ikke sikkert, at resultatet af øvelsen er positiv men det er nødvendigt for os at forholde os løbende konkret til udvikling i feltet og applikabilitet for at kunne opskalere selektivt, når det måtte vise sig nødvendigt (Juan Farré, Teknologisk Institut)*
- *3Shapes profil er typisk at være med helt fremme. Så vi er altid friske på studerende og ny teknologi. Det kan være indenfor AI eller kryptering. Men i det hele taget undersøgelser af mulighederne indenfor kvante computing indenfor vores meget data/beregnings-intense fag (Jesper Manigoff, 3Shapes)*
- *Vi arbejder med meget store datamængder (satellitdata) - måske kunne vores anvendelser være spændende og relevante cases for studenterprojekter (Inge Sandholt, Sandholt ApS)*

- *Weibel ser samarbejde med universiteter og studerende som en central strategi i udvikling af helt nye teknologier (Morten Aarøe, Weibel Scientific A/S)*
- *Under forudsætning af at de studerende ønsker at komme til Bruxelles, da der er tale om store men fortrolige data (Kristian Kjeldsen, Single Resolution Board)*
- *Det afhænger meget af udviklingen, men vi ansætter løbende studerende til at understøtte vores kunder. Jeg forventer, at QC bliver meget mere udbredt de kommende år, så det er bestemt tænkeligt at vi vil lave projektsamarbejder (Jan Lillelund, IBM Danmark)*
- *Det er altid en god måde at få ny viden ind og skabe behov (Paw Petersen, OxyGuard International A/S)*

Kompetencer

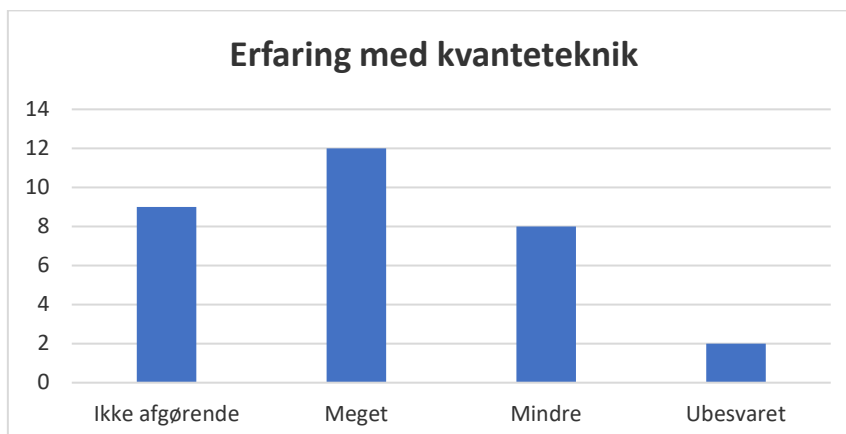
QIS-kandidater skal have et stærkt kvanteoretisk fundament:

Tabel 5



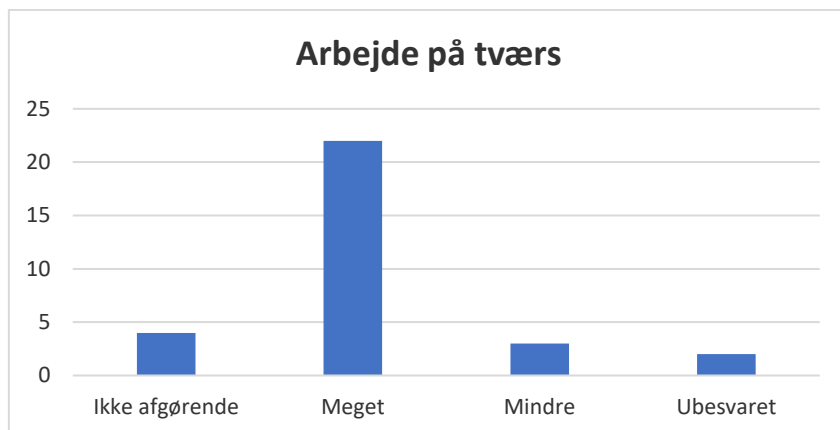
QIS-kandidater skal have erfaring med state-of-the-art kvanteteknik og kvanteeksperimenter:

Tabel 6



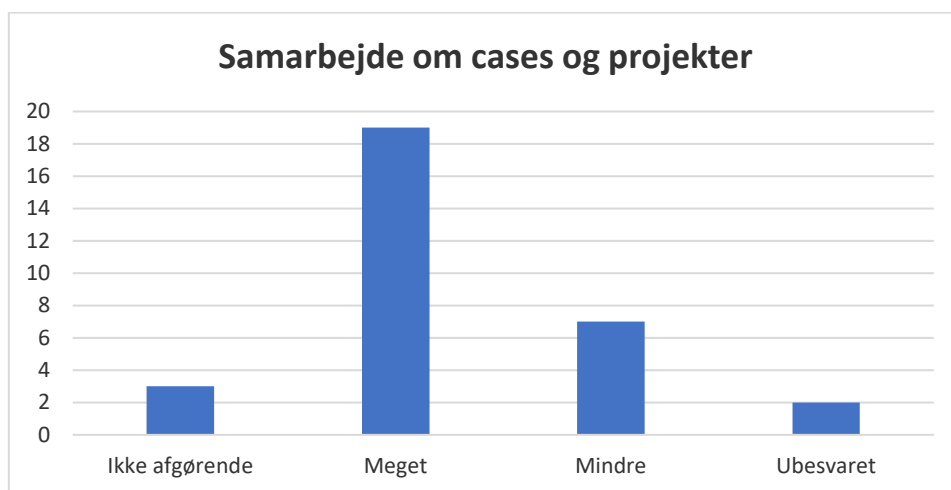
QIS-kandidater skal evne at arbejde med kvanteinformation på tværs af fysik, matematik og datalogi:

Tabel 7



QIS-kandidater skal kunne samarbejde om og tage ansvar for kvanteinformations relevante cases og projekter:

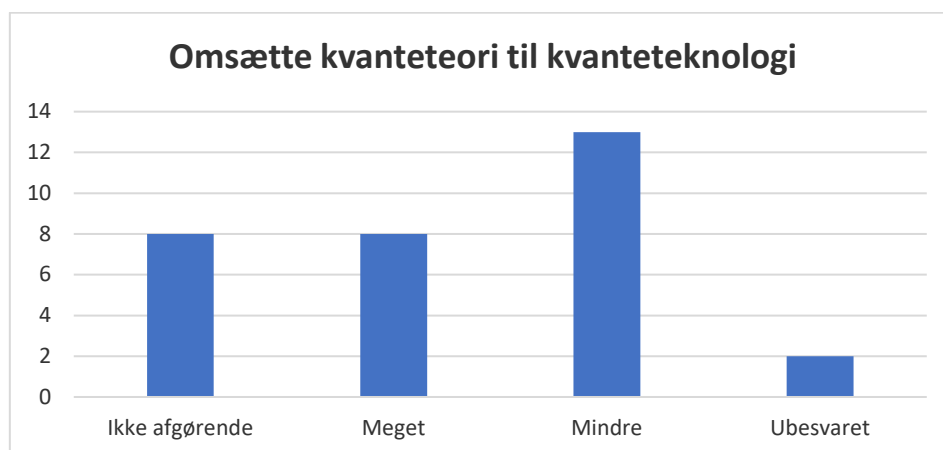
Tabel 8



Færdigheder

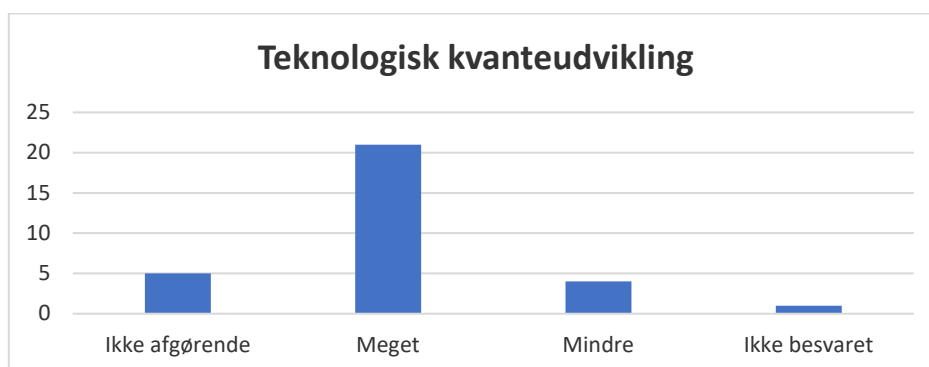
QIS-kandidater skal kunne omsætte kvanteteori til ny kvanteteknologi:

Tabel 9



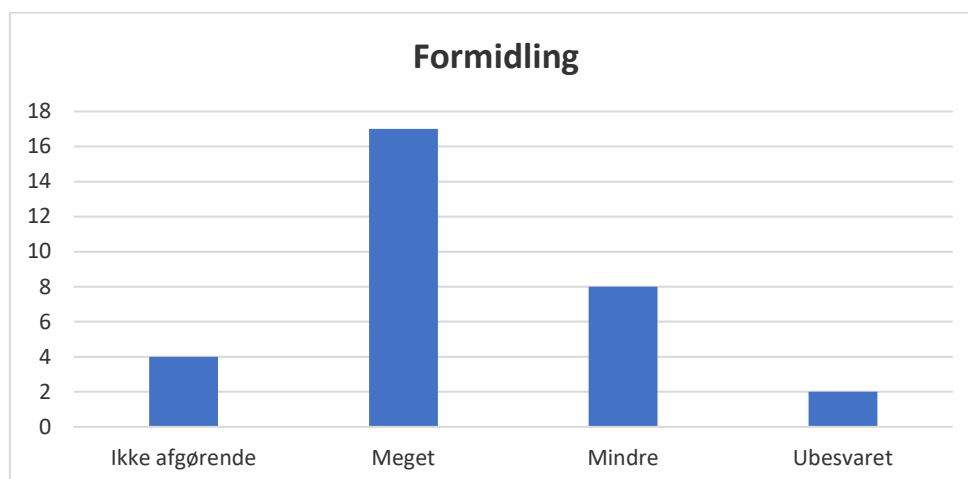
QIS-kandidater skal kunne vurdere potentialet i den teknologiske og algoritmiske kvanteudvikling:

Tabel 10



QIS-kandidater skal kunne formidle muligheder i nye kvanteteknologier:

Tabel 11



Viden

Aftagerne prioriterer, at de nye kandidater har:

- Direkte erfaring med frontforskning indenfor kvanteinformation
- Forståelse for udviklingen af kvanteinformationsteknikker og kvanteteori
- Kendskab til anvendelsen af eksisterende kvanteteknologier

Uddybende bemærkninger fra kommentarfeltet:

- *Det er de "hårde" kompetencer, der er vigtige. Mere bløde kompetencer som "Kende til processer for optagelse af nye patenter og start-up" tror jeg det er bedre, hvis vi som virksomheder selv tager os af at lære de nye kandidater (Jonatan Kutchinsky, QDevil)*
- *Det er vigtigt at sikre, at de har et solidt datalogisk og matematisk fundament, så skal de nok få job, uanset om de ved noget om kvantecomputere eller ej (Kaare Danielsen, Jobindex)*
- *Som laser selskab så har vi også fokus på de laser devices som skal til for at supportere fremtidens kvanteteknologi (Christian Poulsen, NKT Photonics)*
- *Overblik kendskab til det klassiske algoritmiske landskab og dets grænser, så kandidaterne kan sætte relevansen af de nye muligheder i perspektiv (Juan Farré, Teknologisk Institut)*

- *I skal passe på ikke at tabe alt i forkortelser, som ingen kender betydningen af. Jeg aner ikke om databaser/datahåndtering er 'kvante' eller ej, så jeg vil anbefale Jer at forklare, hvad I mener udover bare at sætte 'kvante' foran altid...Det er lige så intetsigende som at sætte "nano" foran alle begreber... (Morten Jørgensen, Leo Pharma)*
- *"Vi vil uddanne studerende, der kan arbejde på tværs i krydsfeltet mellem fysik, matematik og datalogi. Når de kan hinandens sprog, vil de også kunne danne nye broer i virksomhederne." Jeg er helt enig i ovenstående, og tror, at der er et behov for den type kandidater, selvom min virksomhed nok ikke vil være blandt de første til at ansætte dem. På længere sigt kan kvantecomputere komme til at gøre en forskel, også for os (Inge Sandholt, Sandholt ApS)*
- *Jeg ser et stort behov for at informere om de forskellige områder af kvanteteknologi. Hvad handler det om, og hvad er horisonten for, at man mener det kan anvendes i praksis (Ole Lehrmann, Datalogi, AU)*

3.3 Uddybende interviews

I forlængelse af spørgeskemaundersøgelsen har vi gennemført 2 uddybende interviews om behovet for de nye kandidater med fokus på spørgsmål om¹:

- Jobprofiler og arbejdsopgaver
- Hvorfor er det vigtigt at kunne samarbejde på tværs?
- Virksomhedens vigtigste behov her og nu og på længere sigt
- Virksomhedssamarbejde om cases og specialer
- Er der andre områder, virksomheden vurderer, at uddannelsen skal fokusere mere på?

Troels Stenstrup, Senior Manager, NewTech, KPMG:

KPMG oplever en stigende efterspørgsel for kandidater med tværfaglige kompetencer indenfor fysik, datalogi og matematik. Specielt til opgaver som risikovurdering og svindel indenfor finans, pharma-industrien og indenfor research and development (R&D). Det er især færdigheder indenfor algoritmer og computer-delen, som mange virksomheder efterspørger. Det må ikke være en for teoretisk uddannelse. De færdiguddannede kandidater skal kunne håndtere reelle data.

På kort sigt er fokus på rådgivningsopgaver. På lidt længere sigt ser Troels Stenstrup et stigende behov for kandidater, der også kan udvikle algoritmer og kvanteteknologi.

Troels Stenstrup fremhæver kandidater, der:

- 1) Har overordnet kendskab til kvanteområdet
- 2) Kan udvikle i dybden
- 3) Kan arbejde på tværs, både hvad angår det tekniske og kommunikation

Ifølge Troels Stenstrup må uddannelsen gerne fokusere mere på:

- Statistikdelen
- "Blødere" kompetencer som projektledelse, forretningsforståelse, evt. udtagelse af patenter og start-up

¹ Planlagt uddybende interview med Juan Farré, adm. direktør for Teknologisk Institut, blev desværre aflyst lige op til ansøgningsfristen.

- Optimeringsområdet: Hvad sker der f.eks. i en bank eller mediehus i en optimeringsproces?

KPMG har allerede samarbejde med universiteterne om projekter og er meget interesseret i at udbygge dette samarbejde, således at de nye QIS-MSc studerende også kan skrive specialer hos deres kunder f.eks. Novozymes og Saxo Bank, og med KPMG som medvejleder. Der skal udvikles en økonomisk model, således at kunden indirekte dækker udgiften til KPMGs tidsforbrug. Den studerende udfører arbejdet ulønnet men får samtidig udviklet sit karrierespæktiv. Troels Stenstrup deltager gerne i karrierearrangementer for de studerende om muligheder for case- og specialeprojekter og fremtidige jobåbninger hos KPMG.

Christian Poulsen, udviklingschef, NKT Photonics

Christian Poulsen mener, at det nye uddannelsesinitiativ er yderst relevant og interessant og vurderer, at der vil være stor efterspørgsel efter de nye kandidater, der både kan arbejde tværfagligt og har erfaring med at arbejde med det eksperimentelle i laboratorium.

Det er vigtigt at være på forkant med udviklingen, da Danmark ellers vil sakke bagud i den globale satsning og allokering af økonomiske midler til det kvanteteknologiske område.

Kvanteteknologi er i rivende udvikling og er et betydeligt indsatsområde i NKT Photonics. Produktudvikling indenfor kvantesensorer og laserteknologi har virkelig taget fart, og det industrielle marked er steget markant de sidste par år. Kryptografi forventes også at være i vækst de kommende år.

NKT Photonics er vokset ud af universitetsmiljøet og har allerede et tæt samarbejde med DTU om speciale- og ph.d.-projekter og har samarbejdet med DTU Photonik om ca. 30 projekter. Det er et gensidigt meget frugtbart samarbejde, hvor NKT får en masse ny viden og omvendt og kan samtidig tiltrække betydelig økonomiske midler til området. Samarbejdet bygger meget på historik og gensidig tillid og skaber samtidig gode samarbejdsrelationer og faglige netværk.

Mange større virksomheder har også besøgt NKT Photonics for at lære, hvordan projekter med universitetsmiljøet kan skrues sammen og udvikles.

NKT Photonics har netop ansat en håndfuld højtuddannede nye medarbejdere til det kvanteteknologiske område. NKT Photonics har i øjeblikket 10-15 ledige stillinger med et stærkt ansøgerfelt, herunder 5 stærke kandidater fra KU. NKT Photonics har 2 deltidsprofessorer ansat og har tæt internationalt samarbejde med bl.a. USA og UK, herunder især University of Birmingham.

Med hensyn til jobprofiler i NKT Photonics er fokus på ansættelse af udviklingsingeniører og fysikere til produktudvikling. NKT Photonics er ikke så langt med algoritmeudviklingen, men har ansat 4 medarbejdere indenfor området, der primært arbejder indenfor digitalisering. Christian Poulsen ser også algoritmeudvikling og AI i samspil med produktudvikling. Han tilføjer, at kvanteteknologien også får afgørende betydning i "drug development" i medicinalvirksomheder som Novo og Novozymes.

I lyset af det tværfaglige aspekt af uddannelsen uddyber Christian Poulsen, at NKT Photonics ikke vil ansætte rene "scientists". Det er vigtigt, at kandidaterne kan sætte deres viden om teknologien ind i en kontekst og øko-system fra tidlig innovation til at kunne kommunikere med og "sælge" produktet til kunden. Det handler meget om product-management og god forståelse af værdikæden. Det er især meget vigtigt at kunne opbygge netværk. Christian Poulsen vurderer, at der skal skabes et stærkt "Danish

Quantum Community”, og NKT Photonics vil gerne være med til at facilitere processen. NKT Photonics er meget interesseret i at samarbejde om virksomhedsprojekter og specialer med studerende fra den nye kvanteuddannelse. Christian Poulsen bidrager gerne med yderligere input til udvikling af uddannelsen, hvis der er behov for sparring senere i forløbet og deltager gerne i karrierearrangementer for studerende om jobåbninger i NKT Photonics.

3.4 Respondenter i behovsanalysen

Navn	Virksomhed/organisation
Jonatan Kutchinsky	QDevil ApS
Lars Djernæs	Finanssektorens Arbejdsgiverforening
Kaare Danielsen	Jobindex A/S
Christian Poulsen	NKT Photonics
Mikael Lassen	Dansk Fundamental Metrology A/S
ole fogh olsen	Demant A/S
Juan Farré	Teknologisk Institut
Troels Steenstrup Jensen	KPMG
Bjørn Sandqvist	Tryg Forsikring
Kasper Schweitz	Radiometer
Morten Jørgensen	LEO-Pharma
Michael Kjær	DFM A/S
Christian Jul Jensen	Zybersafe
Jan Lillelund	IBM Danmark
Lasse Elsig Jønsson	Danske Bank
Christian Larsen	OFS Fitel Denmark
Jeppe Christiansen	TDC NET
Kurt Christensen	Haldor Topsøe A/S
Anne-Lise Høg Lejre	Teknologisk Institut
Jesper Manigoff	3Shape AS
Charlotte Mark	Microsoft Development Center Copenhagen
Kristian Kjeldsen	Single Resolution Board
Inge Sandholt	Sandholt ApS
Paw Petersen	OxyGuard International A/S
Frank Nielsen	Radiometer
Bo Vendelsø-Nielsen	Telia Danmark
Ole Lehrmann Madsen	Professor, datalogi, AU CEO Alexandra Institutet, 1999-2019 - Alexandra er et GTS-institut Stifter, partner og bestyrelsesformand Mjølner Informatics
Morten Aarøe	Weibel Scientific A/S
Poul Toft Frederiksen	Poul Due Jensens Fond/Grundfos
Dorthe Lybye	ROCKWOOL International A/S
Morten Thaarup	DMI
Hanne Breddam	IT-Kartellet

Bilag 4 Feedback fra potentielle aftagere

Feedback fra potentielle aftagere	
Microsoft	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Great to see this initiative. The need for candidates with quantum capabilities will be high in the coming years.</i>
Cryptomatic	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Jeres planer om en ny tværfaglig kandidatuddannelse i kvantevidenskab lyder meget spændende, og vil have Cryptomathic's fulde støtte. ... Jeg skønner at vi nemt ville kunne ansætte 3-5 af den slags kandidater om året i Danmark, sådan som vores forretning udvikler sig. Dertil kommer at vore kunder, fortrinsvis banker, også er mere og mere opmærksomme på udviklingen, så jeg tror egentlig Jeres kandidater i givet fald ville kunne gå som varmt brød.</i>
KPMG	<ul style="list-style-type: none"> • <i>En kandidatuddannelse i Quantum Information Science er både relevant og aktuel og det er min vurdering at det fremadrettede behov for eksperter inden for feltet bliver stort. Teknologien forventes at transformere alt fra hvordan pharma-industrien søger efter proteiner og aktivstoffer til hvordan finansindustrien laver risikostyring og porteføljeoptimering.</i>
IBM Danmark	<ul style="list-style-type: none"> • <i>It is unfortunately very difficult for us to give out these kind of numbers ... part of the story is that it depends a lot on how fast the technology will develop. Another factor is that we already have trouble filling our quantum vacancies. Our budget is not the issue, it's the lack of talent.</i> • <i>Today, the industry is really in its infancy, but the job market is already very tight.</i>
QDevil	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Efterhånden som kvantecomputer-teknologi forventes at blive mere moden i løbet af de næste 5-10 år, regner vi med at der vil komme en stor efterspørgsel efter kandidater med kompetencer indenfor kvante-teknologi og udvikling af kvante-algoritmer. Det kræver meget specialiserede kompetencer at programmere en kvantecomputer, da det fundamentalt er meget forskellige fra almindelig software-udvikling. I Danmark forventer vi, at det især vil være relateret til kvante-simulation indenfor det farmaceutiske område, da Danmark allerede har en stor pharma-sektor, men der vil også være behov for udvikling af algoritmer til fx. bank- og transportsektoren. Vi mener der vil være brug for hundredvis af kandidater, og det vil højst sandsynligt blive svært at dække efterspørgslen, også selvom vi importerer arbejdskraft.</i>

Bilag 5 Links

Kort redegørelse for det nationale og regionale behov for den nye uddannelse på arbejdsmarkedet:

Analyse af potentialet af danske investeringer i kvanteteknologier foretaget af Industriens Fond

(<https://home.kpmg/dk/da/home/indsigt/2020/11/er-quanteteknologi-danmarks-naeste-erhvervseventyr.html>),

Internationalt uddannelsessamarbejde:

Medlemmer af arbejdsgruppen til udvikling af den nye kvanteuddannelse deltager også i 2 EU

pilotprojekter under QTedu ([Coordination and Support Action for Quantum Technology Education](#))

Københavns Universitet
ku@ku.dk

Godkendelse af ny uddannelse

Uddannelses- og forskningsministeren har på baggrund af gennemført prækvalifikation af Københavns Universitets ansøgning om godkendelse af ny uddannelse truffet følgende afgørelse:

Godkendelse af kandidatuddannelse i kvanteinformationsvidenskab.

Afgørelsen er truffet i medfør af § 20, stk. 1, nr. 1, i bekendtgørelse nr. 1558 af 2. juli 2021 om akkreditering af videregående uddannelsesinstitutioner og godkendelse af videregående uddannelser med senere ændringer.

Det er en forudsætning for godkendelsen, at uddannelsen og dennes studieordning skal opfylde uddannelsesreglerne, herunder bekendtgørelse nr. 2285 af 1. december 2021 om universitetsuddannelser tilrettelagt på heltid (uddannelsesbekendtgørelsen), bekendtgørelse nr. 35 af 13. januar 2022 om adgang til universitetsuddannelser tilrettelagt på heltid (universitetsadgangsbekendtgørelsen).

Da Københavns Universitet er positivt institutionsakkrediteret gives godkendelsen til umiddelbar oprettelse af uddannelsen.

Ansøgningen er blevet vurderet af Det rådgivende udvalg for vurdering af udbud af videregående uddannelser (RUVU). Vurderingen er vedlagt som bilag.

Hovedområde:

Uddannelsen hører under det naturvidenskabelige hovedområde.

Titel:

Efter reglerne i uddannelsesbekendtgørelsens § 29 og bilag 1, pkt. 4.6, fastlægges uddannelsens titel til:

Dansk: cand.scient. i kvanteinformationsvidenskab

Engelsk: Master of Science (MSc) in Quantum Information Science

Udbudssted:

Uddannelsen udbydes i København

Sprog:

Ministeriet har noteret sig, at uddannelsen udbydes på engelsk. I henhold til *Aftale om reduktion af engelsksprogede videregående uddannelser* af 25. juni 2021, vil ministeriet følge udviklingen i tilgangen af engelsksprogede studerende i tæt dialog med institutionerne og aflægge en årlig rapport til SU-forligskredsen.

27. april 2022

**Uddannelses- og
Forskningsstyrelsen**
Uddannelsesudbud og Optag

Haraldsgade 53
2100 København Ø
Tel. 7231 7800

www.ufm.dk

CVR-nr. 3404 2012

Sagsbehandler
Camilla Badse
Tel. 72 31 86 16
cba@ufm.dk

Ref.-nr.
22/05031-1

Normeret studietid:

Efter reglerne i uddannelsesbekendtgørelsens § 28 fastlægges uddannelsens normering til 120 ECTS-point.

Takstindplacering:

Uddannelsen indplaceres til: Takst 3
Aktivitetsgruppekode: 8251

Koder Danmarks Statistik:

UDD: 3377
AUDD: 3377

Censorkorps:

Ministeriet har noteret sig, at uddannelsen tilknyttes censorkorps for fysik og astronomi.

Adgangskrav:

Universitetet har oplyst følgende om adgangsgivende bacheloruddannelser, jf. § 28, stk. 3, om adgangsgivende uddannelser og § 36 om krav om engelskkundskaber i universitetsadgangsbekendtgørelsen:

Der er ingen bacheloruddannelser, der har retskrav til denne kandidatuddannelse.

Direkte adgangsgivende uddannelser:

Følgende bachelorgrader er direkte adgangsgivende til kandidatuddannelsen:

- Matematik, fysik, datalogi, machine learning og datavidenskab fra Københavns Universitet
- Fysik, matematik og datalogi fra Syddansk Universitet
- Fysik, matematik, datalogi og datavidenskab fra Århus Universitet
- Fysik, matematik, datalogi og datavidenskab fra Ålborg Universitet
- Cyberteknologi, Fysik og nanoteknologi, Kunstig intelligens og data, Matematik og teknologi, Softwareteknologi fra DTU
- Data Science fra IT-Universitetet i København
- eller tilsvarende nordiske og internationale bacheloruddannelser

Adgangskrav for øvrige uddannelser:

Ansøgere med en bachelorgrad fra øvrige danske, nordiske eller internationale universiteter kan optages på kandidatuddannelsen, såfremt ansøgeren kan dokumentere, at uddannelsen indeholder følgende:

- Mindst 120 ECTS-point inden for matematik, fysik eller datalogik

Sprogkrav til uddannelsen:

Engelskkundskaber på et niveau svarende til gymnasiets 'Engelsk B' med et samlet gennemsnit på mindst 3 eller 'Engelsk A' med et samlet gennemsnit på mindst 2 på den danske karakterskala eller bestået IELTS Academic, TOEFL, Cambridge Advanced English eller Cambridge English: Proficiency (CPE) test. Minimumscore: IELTS 6.5, TOEFL IBT 83, CAE/CPElevels C1 or C2.

Med venlig hilsen

Camilla Badse
Specialkonsulent

Nr. A1 - Ny uddannelse – prækvalifikation (Forår 2022)		Status på ansøgningen: Godkendt	
Ansøger og udbuds- sted:	Københavns Universitet		
Uddannelsestype:	Kandidatuddannelse		
Uddannelsens navn (fagbetegnelse):	Kvanteinformationsvidenskab /Quantum Information Science		
Den uddannedes titler på hhv. da/eng:	- Cand.scient i kvanteinformationsvidenskab - Master og Science (MSc) in Quantum Information Science		
Hovedområde:	Naturvidenskab	Genansøg- ning: (ja/nej)	Nej
Sprog:	Engelsk	Antal ECTS:	120 ECTS
Link til ansøgning på http://pkf.ufm.dk:	https://pkf.ufm.dk/flows/d27c7e58d4676d989eb9e6bb670135ce		
RUVU's vurdering på møde d. 18. marts 2022:	<p>RUVU vurderer, at ansøgningen opfylder kriterierne som fastsat i bekendtgørelse nr. 1558 af 2. juli 2021 bilag 4 med senere ændringer om akkreditering af videregående uddannelsesinstitutioner og godkendelse af videregående uddannelser.</p> <p>RUVU finder, at det trods den begrænsede aftageranalyse er sandsynliggjort, at området inden for kvanteinformation er i stærk vækst, og at der vil være stor efterspørgsel efter uddannelsens dimittender. Endvidere finder RUVU det sandsynliggjort, at der er behov for, at uddannelsen udbydes på engelsk i kraft af målgruppe og genstandsfelt.</p> <p>RUVU noterer sig, at uddannelsen har en væsentlig faglig tyngde, som vil forudsætte særligt motiverede ansøgere.</p> <p>RUVU finder det meget positivt, at uddannelsen udbydes i et samarbejde mellem KU og DTU.</p>		