



# INSTITUTIONEN FÖR FYSIK

## **FCC155 Kvantdatorer och kvantberäkningar, 7,5 högskolepoäng**

Quantum computing, 7.5 credits

*Avancerad nivå / Second Cycle*

---

### **Fastställande**

Kursplanen är fastställd av Institutionen för fysik 2020-11-06 och senast reviderad 2023-05-08. Den reviderade kursplanen gäller från och med 2024-01-15, vårterminen 2024.

*Utbildningsområde:* Naturvetenskapligt 100 %

*Ansvarig institution:* Institutionen för fysik

### **Inplacering**

Ingår som valbar i institutionens masterprogram

Kursen kan ingå i följande program: 1) Physics, Master Program (N2PHY) och 2) Complex Adaptive Systems, Master Program (N2CAS)

#### *Huvudområde*

Fysik

#### *Fördjupning*

A1N, Avancerad nivå, har endast kurs/er på grundnivå som förkunskapskrav

### **Förkunskapskrav**

Kandidatexamen i fysik, eller motsvarande, inklusive kurs i kvantmekanik.

Sökande måste påvisa kunskaper i engelska: engelska 6/engelska B från svenska gymnasiet, eller motsvarande nivå av ett internationellt erkänt test, till exempel TOEFL, IELTS.

### **Lärandemål**

Syftet med kursen är att bekanta studenterna med både viktiga kvantalgoritmer (t.ex. kvant-Fouriertransform, fasestimering, och Shor's algoritm), variationskvantalgoritmer som utnyttjar ett samspel mellan klassiska datorer och kvantdatorer (t.ex. Variational Quantum Eigensolver (VQE) och Quantum Approximate Optimisation Algorithm

(QAOA)), och korsningar mellan kvantberäkningar och maskininlärning. Kursen kommer också ge studenterna praktisk erfarenhet av att programmera en kvantdator. Kvantdatorer blir snabbt allt bättre, och nyligen uppnåddes ”kvantberäkningsöverlägsenhet”, d.v.s. en kvantdator lyckades lösa ett beräkningsproblem mycket snabbare än en klassisk dator. Kvantberäkningar förväntas ha tillämpningar i många delar av samhället. Kursen förbereder studenterna för att tillämpa kvantberäkningar på en mängd olika problem.

Efter godkänd kurs ska studenten kunna:

Lista relevanta moderna kvantalgoritmer och deras användningsområden.

Förklara viktiga principer för olika modeller för kvantberäkningar (krets-, mätbaserad, adiabatisk).

Förklara den grundläggande strukturen för kvantalgoritmerna som tas upp i kursen inom kretsmodellen, och beräkna utfallet av olika enkla kvantkretsar.

Jämföra, i termer av tidskomplexitet, vilken kvantfördel som förväntas för kvantalgoritmerna som tas upp i kursen jämfört med deras klassiska motsvarigheter.

Programmera enkla kvantalgoritmer på en kvantdator i molnet eller en simulator av en kvantdator i molnet.

Förstå de grundläggande principerna för kvantinformationsbehandling med kodning i kontinuerliga variabler.

Ge exempel på motiveringar för att applicera kvantberäkningar på maskininlärning och på vad hindren är för att uppnå en fördel från att göra så.

## **Innehåll**

Grundläggande kvantgrindar och kvantberäkningsformalism

Introduktion till komplexitetsklasser och relevanta förmodanden

Kretsmodell för kvantberäkningar

Grundläggande teorem för kvantberäkningar: Solovay-Kitaevs teorem, Gottesmann-Knills teorem

Andra modeller för universella kvantberäkningar utöver kretsmodellen: mätbaserade kvantberäkningar och adiabatiska kvantberäkningar

Algoritmer för kvant-Fouriertransform och fasestimering

Shors algoritm

Kvantmaskininlärning

Kvantberäkningsövning i molnet

Kvantalgoritmer för att lösa kombinatoriska optimeringsproblem: kvantglödning och QAOA

Variational quantum eigensolver

Kvantfördelsmodeller: bosonprov och protokollet för IQP (instantaneous quantum polynomial)

Kvantberäkningar med kontinuerliga variabler: mätbaserade kvantberäkningar och GKP-kodning

Kvantfördelsmodeller för kontinuerliga variabler: IQP för kontinuerliga variabler

Kvantglödning med kontinuerliga variabler

### **Former för undervisning**

Kursen består av föreläsningar, räkneövningar, och en datorövning.

*Undervisningsspråk:* engelska

### **Former för bedömning**

Examinationen består av två inlämningsuppgifter och en skriftlig tentamen.

Om student som underkänts två gånger på samma examinerande moment önskar byte av examinerare inför nästa examinationstillfälle, bör sådan begäran inlämnas skriftligt till institutionen och ska bifallas om det inte finns särskilda skäl däremot (HF 6 kap 22§).

Om student fått rekommendation från Göteborgs universitet om särskilt pedagogiskt stöd kan examinerare, i det fall det är förenligt med kursens mål och förutsatt att inte orimliga resurser krävs, besluta att ge studenten en anpassad examination eller alternativ examinationsform.

I det fall en kurs har upphört eller genomgått större förändringar ska student garanteras minst tre examinationstillfällen (inklusive ordinarie examinationstillfälle) under en tid av minst ett år, dock som längst två år efter det att kursen upphört/förändrats. Vad avser praktik och verksamhetsförlagd utbildning gäller motsvarande, men med begränsning till endast ett ytterligare examinationstillfälle.

### **Betyg**

På kursen ges något av betygen Väl godkänd (VG), Godkänd (G) och Underkänd (U).

### **Kursvärdering**

Resultatet och eventuella förändringar i kursens upplägg ska förmedlas både till de

studenter som genomförde värderingen och till de studenter som ska påbörja kursen.