



INSTITUTIONEN FÖR FYSIK

FCC185 Från kvantoptik till kvantteknologier, 7,5 högskolepoäng

From quantum optics to quantum technologies, 7.5 credits

Avancerad nivå / Second Cycle

Fastställande

Kursplanen är fastställd av Institutionen för fysik 2024-01-31 att gälla från och med 2024-09-02, höstterminen 2024.

Utbildningsområde: Naturvetenskapligt 100 %

Ansvarig institution: Institutionen för fysik

Inplacering

Valbar kurs

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

Kursen introducerar hur man kan beskriva, manipulera och detektera kvantmekaniska system som enstaka atomer och fotoner, och hur framsteg inom kontroll och mätning av dessa system driver den så kallade "andra kvantrevolutionen" genom de fyra pelarna inom kvantteknologi: kvantberäkning, kvantsimulering, kvantkommunikation och

kvantmätning. Denna revolution drivs framåt av stora forskningsinitiativ världen över, som Wallenberg Center for Quantum Technology (WACQT) i Sverige, där Chalmers är huvudnoden, EU Quantum Flagship in Europe, och många fler. Kursen ger en översikt över detta mycket aktiva forskningsfält och kopplar – via föreläsningar, övningspass och laborationer i en toppmodern anläggning – till pågående forskning om kvantmekaniska supraledande kretsar, mikrovågsfotoner, och optomekaniska system.

Efter kursen ska studenterna kunna:

- Förstå skillnaden mellan klassiska och icke-klassiska elektromagnetiska fält
- Förklara och använda Jaynes-Cummings-modellen för interaktion mellan materia och strålning på kvantmekanisk nivå
- Använda Bloch-ekvationerna för att beskriva ett två-nivåsystems dissipativa dynamik
- Beräkna utmattningstillståndet för enkla kvantkretsar som består av elementära enstaka kvantbit operationer, sammanflätande grindar och mätningar
- Ha en grundläggande kunskap om de ledande arkitekturerna för att bygga en kvantdator och deras komparativa fördelar och nackdelar
- Förstå skillnaden mellan en kvantdator och en kvantsimulator, samt diskutera användningsfall för båda
- Förstå hur kvantteknologi kan bryta dagens krypteringsnycklar och hur säker kommunikation kan upprättas genom kvantlänkar
- Förklara standardkvantgränsen och hur man bryter den
- Förklara och experimentellt utföra manipulation och mätning av kvanttillstånd för en mikrovågsresonator, assisterad av en supraledande qubit

Innehåll

I den första delen av kursen kommer vi att studera grunderna för kvantoptik, det vill säga hur materia (atomer) interagerar med ett elektromagnetiskt fält på kvantnivå (fotoner). Vi kommer att studera både den semi-klassiska och den fulla kvantmekaniska ljus-materia-interaktionen och lära känna ljusets olika kvanttillstånd och deras kvantoptiska beskrivning. I experiment som implementerar dessa byggstenar av kvantoptik kan man använda en mångfald av fysiska system, t ex atomer, fångade joner eller konstgjorda atomer som supraledande mikroelektroniska kretsar som har kvantmekaniska egenskaper som atomer.

I den andra delen kommer vi att tillämpa kvantoptikens formalism på olika fysiska plattformar inklusive supraledande kretsar, fångade joner, kalla atomer, kväve-vakanscentra i diamant- och mekaniska resonatorer. Här är målet att förstå hur kvanteffekter kan utnyttjas för att bygga nya enheter och att använda nya mättekniker, som är nyckeln till alla de fyra kvantteknologipelarna. Kvantdatorer tillåter att utföra vissa beräkningar eller simuleringar genom att använda kvantalgoritmer som är

snabbare än motsvarande klassiska algoritmer. Utvecklingen av kvantsimulatorer kan spåras tillbaka till R. Feynmans intuition att noggrant konstruerade kvantsystem skulle kunna användas för att effektivt simulera material och molekyler, vilket kan leda till genombrott inom materialvetenskap och kemi. Kvantkommunikationssystem gör det möjligt att kvantmekaniskt distribuera nycklar över absolut säkra kanaler och kan koppla samman kvantdatorer över stora avstånd. Slutligen drar kvantsensorer fördel av kvantfenomen som tillståndsuperposition och "pressade" kvanttillstånd för att bygga sensorer, bildsystem och metrologiska standarder med oöverträffad noggrannhet.

Del I

1. Byggstenar av kvantmekanik och kvantoptik
2. Fotoner: klassiska och kvanta strålningstillstånd
3. Wigner funktioner och Wigner tomografi
4. Atomfältinteraktioner: Rabi-oscillationer och Jaynes-Cummings Hamiltonian
5. Kvantdekoherens och Blochs ekvationer
6. Avläsning av kvantinformation

Del II

1. Grunderna i kvantberäkning
2. Översikt över arkitekturer för kvantberäkning
3. Krets kvantelektrodynamik och dess tillämpningar
4. Kvantsimulering
5. Kvantkommunikation
6. Mikrovågs-till-optisk transduction
7. Kvantavkänning

Former för undervisning

Föreläsningar, räkneövningar, hemuppgifter, forskningsnära laboration med labbrapport

Undervisningsspråk: engelska

Former för bedömning

Kursen består av den följande examinationsformer: fyra obligatoriska inlämningsuppgifter, labbrapport och tentamen. För att klara kursen måste man få minst 40% av poäng på tentamen och delta i labbet och skicka in en skriftlig labbrapport. Betyget baseras sedan på: tentamen (50%), inlämningsuppgifter (35%) och labbrapport (15%).

Om student som underkänts två gånger på samma examinerande moment önskar byte av examinator 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 examinator, 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.