



LUNDS  
UNIVERSITET

Naturvetenskapliga fakulteten

## FYSC24, Fysik: Partikelfysik, kosmologi och acceleratorer, 7,5 högskolepoäng

*Physics: Particle Physics, Cosmology and Accelerators, 7.5 credits*

Grundnivå / First Cycle

---

### Fastställande

Kursplanen är fastställd av Naturvetenskapliga fakultetens utbildningsnämnd 2021-03-15 och senast reviderad 2024-10-11 av Naturvetenskapliga fakultetens utbildningsnämnd. Den reviderade kursplanen träder i kraft 2024-10-11 och gäller från och med höstterminen 2025.

### Allmänna uppgifter

Kursen är en obligatorisk kurs på grundnivå för en naturvetenskaplig kandidatexamen i fysik och en alternativ-obligatorisk kurs för en naturvetenskaplig masterexamen i beräkningsvetenskap med inriktning fysik.

*Undervisningsspråk:* Engelska

*Huvudområde Fördjupning*

Fysik                    G2F, Grundnivå, har minst 60 hp kurs/er på grundnivå som förkunskapskrav

### Kursens mål

Kursen syftar till att ge studenten en översikt över teorier och experimentella verktyg som ligger till grund för vår förståelse av modern partikelfysik. Kursen innehåller en översikt över kosmologi och astrofysik för att besvara olösta frågor angående vårt universums innehåll. Kursen anknyter även till grundforskningens del i teknikutvecklingen och hur verktyg utvecklade för partikelfysik används i samhället.

Lärandemål i utbildningsplanen hänvisar till utbildningsplanen för kandidatexamen i fysik vid Lunds universitet, vilket i sin tur motsvarar examensmål för generell examen i högskoleförordningen.

1-8 är etappmål mot lärandemål 1 i utbildningsplanen

2-8 är etappmål mot lärandemål 2 i utbildningsplanen

12-13 är etappmål mot lärandemål 3 i utbildningsplanen

10-13 är etappmål mot lärandemål 4 i utbildningsplanen

12-13 är etappmål mot lärandemål 5 i utbildningsplanen

7-8, 14-16 är etappmål mot lärandemål 6 i utbildningsplanen

7-8, 14-16 är etappmål mot lärandemål 7 i utbildningsplanen

6-8, 14-16 är etappmål mot lärandemål 8 i utbildningsplanen

### **Kunskap och förståelse**

Efter avslutad kurs ska studenten kunna:

1. Beskriva grundläggande begrepp i speciell relativitetsteori.
2. Beskriva materiens struktur i termer av kvarkar, leptoner och kraftförmedlare.
3. Beskriva grundläggande teorier och experimentella bevis som ligger till grund för den grundläggande växelverkan i standardmodellen (starka och elektrosvaga krafterna).
4. Förklara de grundläggande elementen i Higgs bosonteori och dess experimentella bevis.
5. Förklara orsakerna till att det finns förutsagda fenomen bortom standardmodellen och redogöra för vilka ledande teorier som kan förklara dem.
6. Beskriva hur partikelfysik, kosmologi och astrofysik är kopplade i termer av förståelse för de största obesvarade frågorna i universum (t.ex. mörk materia).
7. Beskriva de viktigaste växelverkningar som är relevanta för att identifiera partiklar och mäta deras egenskaper och hur detta används i moderna partikeldetektorer.
8. Förklara de grundläggande principerna bakom partikelacceleratorer och deras användning för forskning och samhälle, särskilt de i Lund (MAX, ESS) och Large Hadron Collider.

### **Färdighet och förmåga**

Efter avslutad kurs ska studenten kunna:

9. Utföra kvantitativa beräkningar av reaktioner och sönderfall med relativistisk kinematik och använd metoden med 4-rörelsemängd för kvantitativa kinematiska beräkningar.
10. Illustrera partikelreaktioner och deras sönderfall med Feynman-diagram.
11. Tillämpa konserveringslagar baserade på standardmodellen på reaktioner och sönderfall.
12. Använda ett elektroniskt detekteringssystem för muoner från den kosmiska strålningen och mät muonens sönderfallstid.
13. Utföra en enkel dataanalys i Python genom att skriva ett program för att bestämma livstiden för muonen med hjälp av data från experimentella mätningar och för att generalisera livstidsmätningar på tidsskalor för svaga sönderfall.
14. Muntligt och skriftligt presentera en rapport inom ämnet partikelfysik där studenterna har inhämtat kunskap tillsammans och delat upp uppgifterna.

### **Värderingsförmåga och förhållningssätt**

Efter avslutad kurs ska studenten kunna:

15. Diskutera varför vår kunskap om universum är ofullständig och hur vi kan söka svar med observationer och experiment av partiklar, kosmologi och astropartikelfysik.
16. Kritiskt utvärdera och förklara hur verktygen som används för att svara på stora frågor inom partikelfysik har betydelse för samhället och vardagen.

## Kursens innehåll

Kursen består av tre olika teman:

### Tema 1: Speciell relativitet

I den första delen av kursen lär sig studenterna om speciell relativitet, dess konsekvenser för längd och tid och om begreppet 4-rörelsemängd och invariant massa. Med hjälp av dessa teoretiska verktyg lär de sig hur man beräknar tvåkroppspartikelsönderfall för relativistiska partiklar.

### Tema 2: Teori och experimentella metoder inom modern partikelfysik

I den andra delen av kursen ges studenten en översikt över elementära partiklar och deras interaktioner. Reaktionen och sönderfall representeras med Feynman-diagram. Standardmodellen beskrivs i termer av partiklar och interaktioner (starka interaktioner och enade elektrosvaga interaktioner). Slutligen introduceras Higgs-mekanismen och dess upptäckt diskuteras i populärvetenskapliga termer. Teorier bortom standardmodellen förklaras kort, och föreläsarna ger en orientering om aktuella frågor inom forskningsområdet högenergifysik. Denna del av kursen leder till en diskussion om yrken inom vetenskap och partikelfysik när det gäller den tekniska utveckling som krävs för att svara på stora frågor inom vetenskapen (exempelvis maskininlärning, realtidsanalys, intelligent instrumentering) samt deras tekniköverföring.

### Tema 3: Partikelacceleratorer och element i partikeldetektorer och instrumentering

Den tredje komponenten fokuserar på instrumentering för partikelfysik. Interaktioner som är relevanta för partikeldetektering och metoderna för att identifiera och mäta partiklarnas momentum förklaras i samband med högenergifysiksexperiment och kopplas till andra fysikområden. Denna del inkluderar en labbkurs där studenten mäter livstiden för kosmiska muoner genom att skriva ett program i Python med Jupyter-notebook.

Eftersom experimentella studier av subatomära system kräver partikelstrålar med hög energi beskrivs principerna för partikelacceleratorer i en specifik del av kursen tillägnad principerna för acceleration, i huvudsak synkrotroner och linjära acceleratorer och lagringsringar, inklusive generering av sekundära strålar av fotoner och protoner som i MAX och ESS. Denna del av kursen belyser användningen av partikelacceleratorer för samhället i allmänhet (t.ex. för medicinska tillämpningar och för materialstudier inom fysik, farmakologi, biologi, kemi). Exempel är tagna från fysikens framkant, såsom Large Hadron Collider vid CERN, MAX och ESS i Lund.

Under hela kursen förfinar studenterna sina överförbara färdigheter i programmering på Python-språket, eftersom de praktiserar sina programmeringskunskaper under laborationen.

Studenterna förvärvar färdigheter i vetenskapligt skrivande under förberedelsen av hemtentamen genom att svara på öppna frågor om kursens ämnen. De finslipar också sin presentationsförmåga eftersom de i den muntliga tentamen måste förbereda en kort presentation om standardmodellen som presenteras med hjälp av whiteboard och slides.

Studenter kan också frivilligt delta i IPPOG Particle Physics masterclasses, där de vidareutvecklar sina färdigheter inom vetenskapskommunikation för allmänheten, med syftet att ge studenter extra möjligheter, detta är ej obligatoriskt.

## Kursens genomförande

Undervisningen utgörs av föreläsningar, laborationer, övningar och ett studiebesök i en stor experimentanläggning. Deltagande i introduktionsföreläsning, labbintroduktionsföreläsning samt laborationsmoment och medföljande instruktioner är obligatoriskt. Deltagande i studiebesöket är obligatoriskt, men kan ersättas med ett skriftligt projekt. Studiebesöket kan medföra en mindre kostnad för studenten.

## Kursens examination

Examination sker skriftligt i form av hemtentamina under kursens gång och genom en muntlig tentamen i slutet av kursen, samt genom obligatoriska moment.

Hem- och muntliga tentamina examinerar lärandemål 1-9, och den muntliga tentamen har ett särskilt fokus på lärandemål 2-4 och 14-16 eftersom studenterna ombeds att beskriva standardmodellen med sina egna ord och de måste svara på frågor om tillämpningen av partikelfysik i samhället.

De obligatoriska momenten omfattar deltagande i och godkänd skriftlig labbrapport för muonlabben som främst examinerar lärandemål 12-13. Deltagande i besöket på experimentanläggning, eller alternativt en skriftlig rapport om anläggningen är också en obligatorisk del av kursen, som inte betygsätts.

För studerande som inte godkänts vid ordinarie examination erbjuds ytterligare tillfällen i nära anslutning därtill.

Om så krävs för att en student med varaktig funktionsnedsättning ska ges ett likvärdigt examinationsalternativ jämfört med en student utan funktionsnedsättning, så kan examinator efter samråd med universitetets avdelning för pedagogiskt studentstöd fatta beslut om alternativ examinationsform för berörd student.

## Betyg

Betygsskalan omfattar betygsgraderna: Underkänd, Godkänd, Väl godkänd

För att bli godkänd på hela kursen krävs godkända tentamina, godkänd laborationsrapport, samt deltagande i alla obligatoriska moment (introduktionsföreläsning, labbintroduktionsföreläsning, experimentanläggningsbesöket/skriftlig rapport som ersättning).

Hemtentamina och den muntliga tentamen motsvarar 6 hp. Laborationsrapporten för muonlabben motsvarar 1,5 hp.

Betygsskala för tentamina och laborationsrapport är Underkänd, Godkänd, Väl Godkänd samt ett procentbetyg. Betygsskala för studiebesök/skriftlig rapport som ersättning är Underkänd, Godkänd.

Varje hemtentamen består av olika övningar. Den övergripande bedömningen för hemtentamen är det viktade genomsnittet av de enskilda övningarna, inklusive övergripande poäng för tydlighet.

För den muntliga tentamen utvärderas studenternas förståelse för lärandemålen och tydligheten i förklaringarna när studenten presenterar standardmodellen och svarar på lärarens frågor.

Laborationsrapporten klassificeras enligt slutresultatet (huruvida resultatet av dataanalysen är förenligt med värdet av livslängden på) och rapportens tydlighet.

Betyget registreras som ett separat procentbetyg betyg på 1,5 hp.

Examinationerna för hemtentamina, muntliga tentamina och laborationsrapport markeras i procentenheter av 100%, som sedan omvandlas till betygskalan för den naturvetenskapliga fakulteten och LTH.

Likvärdigheten mellan procentenheter och betygsskala är:

- Underkänd <50%: (U)
- Godkänd 50% -79%: (G)
- Väl godkänd > = 80% (VG)

Det samlade medelvärdet för hemtentamina och den muntliga tentamen görs i genomsnitt med en vikt på 25% respektive 75% av procentbetyg för att få den totala 6 hp-poängen.

Slutbetyget beräknas sedan som ett viktat medelvärde av procentbetyget av hemtentamina och den muntliga tentamen (6 hp) och myonlaborationen (1.5 hp) som sedan omvandlas till betygsskalan för den naturvetenskapliga fakulteten och LTH.

## Förkunskapskrav

För tillträde till kursen krävs grundläggande behörighet, 22,5 hp fysik inkluderande kunskaper motsvarande

- FYSB22 Grundläggande kvantmekanik, 7,5 hp (åtminstone genomgången),
- FYSB23 Grundläggande statistisk fysik och kvantstatistik, 7,5 hp (åtminstone genomgången) och
- FYSB24 Atom- och molekylfysik, 7,5 hp (åtminstone genomgången),

och 45 hp matematik (varav max en oavslutad kurs, men åtminstone genomgången) inkluderande kunskaper motsvarande:

- MATA21 Envariabelanalys, 15 hp,
- MATA22 Lineär algebra 1, 7,5 hp,
- NUMA01 Beräkningsprogrammering med Python, 7,5 hp,
- MATB21 Flervariabelanalys 1, 7,5 hp och
- MATB22 Lineär algebra 2, 7,5 hp,

samt antingen ytterligare 37,5 hp i fysik (och om någon av kurserna FYSB22–24 är avklarad kan max en av dessa kurser vara oavslutad, men åtminstone genomgången), inkluderande kunskaper motsvarande:

- FYSA12 Introduktion till universitetsfysik, med mekanik och ellära, 15 hp,
- FYSA13 Introduktion till universitetsfysik, med optik, våglära och kvantfysik, 7,5 hp,
- FYSA14 Introduktion till universitetsfysik, med termodynamik, klimat och experimentell metodik, 7,5 hp och
- FYSB21 Matematiska metoder för svängningar, vågor och diffusion, 7,5 hp,

eller ytterligare 37,5 hp i matematik (och om alla 45 hp matematik ovan är avklarade kan max en av dessa kurser vara oavslutad, men åtminstone genomgången) inkluderande kunskaper motsvarande:

- MATB23 Flervariabelanalys 2, 7,5 hp och
- MATB24 Lineär analys, 7,5 hp.

Motsvarande förkunskaper, som inhämtats på annat sätt, ger också tillträde till kursen.

## Övrigt

Kursen ingår i kandidatprogrammet i fysik, teoretisk fysik, astrofysik eller i sjukhusfysikerprogrammet. Undervisningen utgår från att studenten följer programmet och har tagit till sig kunskaperna i de föregående kurserna, samt läser övriga programkurser parallellt. Kursen är även valbar inom masterprogrammet i beräkningsvetenskap. För den som tillägnat sig motsvarande kunskaper på annat sätt är kursen möjlig att läsa som fristående kurs.

Kursen kan inte tillgodoräknas i examen tillsammans med FYSC14 Fysik: Partikelfysik, kosmologi och acceleratorer, 7,5 hp eller motsvarande tidigare kurser, samt ÄFYD14, Modern fysik med fysikdidaktik, 30 hp.

Kursen samläses med EXTF85, Partikelfysik, kosmologi och acceleratorer, 7,5 hp som är en kurs vid Lunds tekniska högskola, LTH.

Kursens examination schemaläggs i enlighet med Naturvetenskapliga fakultetens tentamenschema.

Kursen ges vid Fysiska institutionen, Lunds universitet.