



# FSI3350 Storförenande teorier

## 7,5 hp

Grand Unified Theories

När kurs inte längre ges har student möjlighet att examineras under ytterligare två läsår.

### Fastställande

Kursplan för FSI3350 gäller från och med VT19

### Betygsskala

P, F

### Utbildningsnivå

Forskarnivå

### Särskild behörighet

Kvantfältteori. Teoretisk partikelfysik.

### Undervisningsspråk

Undervisningsspråk anges i kurstillfällesinformationen i kurs- och programkatalogen.

### Lärandemål

Efter avslutad kurs ska doktoranden kunna:

- ha kunskap om strukturen på inbäddningen av SM:ens gaugegrupp och de relevanta frihetsgraderna till ett enhetligt schema.

- matchning av standardmodellens parametrar på "mikroskopiska" parametrar av det underliggande ramverket.
- ha kunskap om ursprunget för de "generiska" förutsägelserna om enhetliga scenarier - Weinbergvinkeln, protonens instabilitet, företrädet av en TeV-skalg supersymmetri.
- betona skillnaderna mellan supersymmetriskt och icke-supersymmetriskt modellbygge och motsvarande experimentella begränsningar.

## Kursinnehåll

Växelverkan inom och bortom partikelfysikens standardmodell. Öppna teoretiska problem inom standardmodellen. Indikationer på fysik bortom standardmodellen. Grundläggande introduktion till grupp teori. Inbäddning av standardmodellens gaugegrupper i en (halv-)enkel gaugegrup. Dynamiska konsekvenser av storförenade teorier. SU(5) som en förenad gaugegrupp. Höger-vänster symmetri. SO(10)-modeller.

## Kursupplägg

### I. Interaktioner i Standardmodellen för partikelfysik & tips om fysik bortom SM

- standardmodellen för partikelfysik
- öppna problem i SM
- kvantisering av hyperladdning i SM & "mirakel" av anomalikancellering
- smakproblemet i SM (Weinbergvinkeln, Yukawakopplingar, CKM-blandning)
- gaugehierarki problemet
- neutrinomassor & blandning

### II. Tips på fysik bortom SM (renommerbar)

- tips på ny fysik från neutriner
- Majorananeutriner, gungbrädemekanismen,  $d = 5$ -Weinbergoperatorn
- anomalier i U(1) av baryon- och leptonnummer i SM & framväxten av B-L
- ny fysik på grund av  $d = 6$ -operatorer - icke-bevarande av baryontal
- B-brott krävs för baryogenes
- $d = 6$ -inducerad proton sönderfallshastighet och skalan hos den bakomliggande fysiken
- icke-bevarande av L som en lägre gräns för B-L:s sammanbrottskala
- tips på ny fysik från SU(2)xSU(3)-springande
- begreppet löpande koppling
- springande gaugekopplingar i Yang-Mills-teorier med fermioner och skalärer på en-loop-nivå
- potentiella fördelar med att ha en enhetlig gaugestruktur (Weinbergvinkeln, Yukawaförening...)

### III. Intermezzo 1: Grundläggande intro till Lie-grupper och representationer

- Lie-grupper och Lie-algebror
- enkla, halvenkla Lie-algebror, kompakthet
- subgrupper, subalgebror, Cartan-underalgebra, vikter och rötter
- klassificering av enkla Lie-algebror, Dynkindiagram
- inslag av representationsteori
- reella x komplexa representationer, reducibla x irreducibla representationer
- grundläggande x antifundamentala representationer, adjungerad representation
- index, symmetriegenskaper
- exempel - grundläggande SU(N)-representationer, Youngtablåer, SO(n)-representation-

er, spinorer

- dekomposition eller irreps med avseende på undergrupper, Clebsch-Gordan-koefficienter

#### IV. Inbäddning av $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ i SM i en (halv-)enkel gaugegrupp $G$

- SM Cartaner & att behöva leta efter rang 4 eller mer
- behov av komplexa representationer
- enda enkla rang-4-alternativet - framväxten av  $SU(5)$
- normaliseringsfrågor & "kanoniska" vs "fysikalisk" normalisering av  $U(1)$ -laddningar i

#### GUT

- kvantisering av SM:ens (hyper)laddning
- Higgssektorn, singletter med avseende på en undergrupp, Higgsmekanismen

#### V. Dynamiska konsekvenser

- $d = 6$ -protonsönderfall (allmänna överväganden)
- förening av gaugekopplingarna, frikoppling under  $M_G$  & GUT-skala-tröskelkorrigeringar
- tips på minimala modell(er)s struktur

#### VI. Den minimala $SU(5)$ -modellen

- struktur
- icke-triviala förutsägelser
- GUT-skalans Weinbergvinkel
- tredje generationens Yukawa-konvergens
- gaugelöppning i minimal  $SU(5)$
- ett tips på supersymmetri

#### VII. Intermezzo 2: supersymmetri & supersymmetriska GUT

- supersymmetris grunder
- Den minimala supersymmetriska Standardmodellen
- SUSY-smak och CP-frågor, proton sönderfall & R-paritet, leptonsmaksbrott i SUSY
- SUSY-gaugelöppning
- spänning mellan proton sönderfall & SUSY-CP och smak vs förenings- och hierarkikrav

#### VIII. Den minimala SUSY $SU(5)$ -modellen

- struktur
- proton sönderfall i den minimala SUSY  $SU(5)$ -modellen
- problem med minimal SUSY  $SU(5)$  (proton sönderfall, neutrinossektorn, D-T-finjustering)

#### IX. LR-symmetri & Pati-Salam

- $U(1)_{B-L} [ \times SU(2)_R ]$  som en gaugesymmetri
- ursprunget till neutrinos masskala
- Pati-Salam-symmetri och leptontal som en fjärde färg
- lindra proton sönderfall i SUSY LR-modeller

#### X. $SO(10)$ -modeller

- $SO(10)$ -spinorer
- $SO(10)$  i  $SU(5)$ - och Pati-Salam-språk
- SUSY- x icke-SUSY-uppställning
- renormerbar x icke-renormerbar gungbräda
- proton sönderfall i SUSY  $SO(10)$
- $d = 4$ -proton sönderfall
- $d = 5$ -proton sönderfall
- jämförelse med SUSY  $SU(5)$

## XI. Minimal renormerbar SUSY SO(10)

- partikelinnehåll
- R-paritet som en gaugesymmetri
- typ-II-gungbräda och naturligt stor leptonblandning
- frågan om den absoluta neutrinomassskalan

## XII. Öppna problem & riktningar

- dublett-triplett-uppdelning
- SUSY proton sönderfall
- störning & närhet till Planckskalan
- mellanliggande skalor, gravitino problemet i SUSY GUT
- SUSY SO(10) eller icke-SUSY SO(10)
- split SUSY

## XIII. Exotiskt (om tiden tillåter)

- klassiska icke-perturbativa lösningar & spontant brutna gauge teorier
- Nielsen-Olesen-virvel i 2+1 dimensioner, topologiska laddningar
- t'Hooft-Polyakov-monopolen i 3+1 dimensioner
- monopoler i GUT
- katalys av baryonsönderfall
- monopoler & inflation

## Kurslitteratur

- P.Langacker, Phys.Repts. 72 (1981)
- R.Slansky, Phys.Repts. 79 (1981)
- D.Bailin, A.Love, **SUSY gauge field theories and string theory**, ISBN 0750-302674
- G.G.Ross, **Grand Unified Theories**, 1984, ISBN 0805-369678
- R.N.Mohapatra, **Unification & Supersymmetry**, 1986/92, ISBN 0378-955348

## Examination

- INL1 - Inlämningsuppgift, 7,5 hp, betygsskala: P, F

Examinator beslutar, baserat på rekommendation från KTH:s handläggare av stöd till studenter med funktionsnedsättning, om eventuell anpassad examination för studenter med dokumenterad, varaktig funktionsnedsättning.

Examinator får medge annan examinationsform vid omexamination av enstaka studenter.

## Övriga krav för slutbetyg

En uppsättning hemuppgifter.

## Etiskt förhållningssätt

- Vid grupparbete har alla i gruppen ansvar för gruppens arbete.

- Vid examination ska varje student ärligt redovisa hjälp som erhållits och källor som använts.
- Vid muntlig examination ska varje student kunna redogöra för hela uppgiften och hela lösningen.