FSI3350 Storförenande teorier 7,5 hp

Grand Unified Theories

Fastställande

Kursplan för FSI3350 gäller från och med VT09

Betygsskala

G

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-skalig supersymmetri.
- betona skillnaderna mellan supersymmetriskt och icke-supersymmetriskt modellbygge och motsvarande experimentella begränsningar.

Kursinnehåll

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)
• gaugehierarkiproblemet
• neutrinomassor & blandning

II. Tips på fysik bortom SM (renomerbar)
- 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 protonsönderfallshastighet och skalan hos den bakomliggande fysiken
• icke-bevarande av L som en lägre gräns för B-L:s sammanbrottsskala
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-snivå
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
Ansats 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)-representationer, spinorer
Dekomposition eller irreps med avseende på undergrupper, Clebsch-Gordan-koefficienter

IV. Inbäddning av SU(3) x SU(2) x U(1) i SM i en (halv-)enkel gaugegrupp G
SM Cartaner & att behöva leta efter rang 4 eller mer
Behov av komplexa representationer

Genda enkela 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
Od = 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
Gaugelöpning i minimal SU(5)
• ett tips på supersymmetri

VII. Intermezzo 2: supersymmetri & supersymmetriska GUT
Supersymmetrins grunder
Den minimala supersymmetriska Standardmodellen
SUSY-smak och CP-frågor, protonsönderfall & R-paritet, leptonsmaksbrott i SUSY
SUSY-gaugelöpning
Spänning mellan protonsönderfall & SUSY-CP och smak vs förenings- och hierarkikrav

VIII. Den minimala SUSY SU(5)-modellen
Struktur
Protonsönderfall i den minimala SUSY SU(5)-modellen
Problem med minimal SUSY SU(5) (protonsönderfall, neutrinosektorn, D-T-finjustering)

IX. LR-symmetri & Pati-Salam
U(1) B-L [x SU(2)R] som en gaugesymmetri
Ursprunget till neutrinons masskala
Pati-Salam-symmetri och leptontal som en fjärde färg
Lindra protonsönderfall 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
Protonsönderfall i SUSY SO(10)
• d = 4-protonsönderfall
• d = 5-protonsönderfall
• 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 neutrinomasskalan

XII. Öppna problem & riktningar
Dublett-triplett-uppdelning

SUSY protonsönderfall
Störning & närhet till Planckskalan
Mellanliggande skalor, gravitinoproblemet i SUSY GUT
SUSY SO(10) eller icke-SUSY SO(10)
Split SUSY

XIII. Exotiskt (om tiden tillåter)
Klassiska icke-perturbtiva lösningar & spontant brutna gaugeteorier
• Nielsen-Olessen-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

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.

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

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.