

# Szigorlati tételsor

## Főtárgy: Kvantumtérelmélet

2012. január 13.

### 1. A Klein-Gordon mező

A térelméleti leírás szükségessége récseskefizikában. Klasszikus térelmélet elemei: Lagrange térelmélet, Hamilton térelmélet. Noether tétel. Kanonikus kvantálás: Klein-Gordon tér felírása harmonikus oszcillátorok segítségével. Klein-Gordon mező a téridőben. Kauzalitási probléma megoldása a kvantumtérelméletben. A Klein-Gordon propagátor.

### 2. A Dirac mező

Lorentz invariáns téregyenletek skalár és vektormezőkre. A Dirac egyenlet. Weyl spinorok. Szabad Dirac egyenlet megoldása. Dirac mátrixok, Dirac bilineárisok. Királis transzformáció. A Dirac mező kvantálása. A Dirac propagátor. A Dirac mező diszkrét szimmetriái: paritás, időtükrözés, töltés konjugáció.

### 3. Kölcsönhatás, Feynman diagramok

Perturbációs számítás. Önkölcsönható skalártér, skalárelektrodinamika. Kvantum-elektrodinamika. Kétpontfüggvény felírása kölcsönhatási térbeli terek kölcsönhatás mentes vákuum várható értékeként. Wick tétel. Feynman diagramok. Vákuum diagramok faktorizációja. Kölcsönhatási keresztmetszet és  $S$  mátrix.  $S$  mátrix elemek meghatározása Feynman diagramokból. Feynman szabályok. Yukawa potenciál, Coulomb potenciál.

### 4. Kvantálás pályaintegrállal

Pályaintegrál kvantummechanikában. Skalártér kvantálása pályaintegrál segítségével. Kontrakció, Feynman szabályok. Funkcionális derivált, generátor funkcionál. Statisztikus fizika és a kvantumtérelmélet közötti analógia. Elektromágneses tér kvantálása. Spinor tér kvantálása. Grassmann változók. Funkcionál determináns. Ward-Takahashi azonosság.

### 5. Renormálás

Ultraibolya divergenciák, osztályozásuk. Szuper renormalizálható, renormalizálható és nem renormalizálható elméletek. Renormált perturbáció számítás egy hurok rendben a skalártérelmélet és a kvantumelektrodinamika esetében. Renormálás a vezető rendben túl.

## 6. Renormálás és a szimmetria

Spontán szimmetriasértés. Példa diszkrét szimmetria, folytonos Abeli és nem-Abeli szimmetria sérülésére. Goldstone tétel. Spontán sértett sigma modell renormálása. Effektív hatás. Effektív hatás a lineáris sigma modellben. Az effektív hatás mint generátorfunkcionál. Goldstone tétel érvényessége a perturbációs számítás összes rendjében.

## 7. A renormalizációs csoport

Wilson-féle renormálás. Renormcsoport trajektória. Callan-Symanzik egyenlet. A beta és a gamma függvény. Csatolási állandó skálafüggése. A Callan-Symanzik egyenlet megoldása. Futó csatolási állandó.

## 8. Kritikus exponensek és a skalártérelmélet

Termodinamikai potenciálok deriváltjainak viselkedése folytonos fázisátalakulási pont közelében. Spin korrelációs függvény exponense. Kritikus exponensek értéke. Kritikus viselkedés 4 dimezióban. Nemlineáris sigma modell  $d = 2, 2 < d < 4$  dimezióban.

## 9. Nem Abeli mértékinvariancia

Mértékinvariancia geometriája: kovariáns derivált. Párhuzamos eltolás. Görbületi tenzor. Elektrodinamika mint  $U(1)$  mértékelmélet. Yang-Mills mértékelmélet. Mértékinvariáns Wilson hurok. Lie algebraok osztályozása. Lie csoport reprezentációi. A Casimir operátor.

## 10. Nem-Abeli mértékelméletek kvantálása

Fermion- mértékbozon, mértékbozon-mértékbozon vertex. Fadeev-Popov kvantálás. Mértékrögzítő függvény. Szelemterek és unitaritás. BRST szimmetria. A beta függvény. Asszimptotikus szabadság.

## 11. Anomália

Fermion mérték transzformációja. Példa Abeli anomáliára. Axiális áram 2 dimenziós kvantumelektrodinamikában. Anomáliafüggvény és kapcsolata a topológiával. Axiális áram 4 dimezióban. Háromszög diagramok. Királis transzformáció hatása a funkcionálintegrálra.

## 12. Kvantum-színdinamika: az erős kölcsönhatás elmélete

A QCD szimmetriái. Királis szimmetria anomális és spontán sérülése. Goldstone bozonok és a királis szimmetria QCD-ben. Kvarkezárás, asszimptotikus szabadság.

## 13. Spontán sértett mértékelméletek

Higgs mechanizmus. Példák Higgs mechanizmusra Abeli és nem-Abeli mértékelméletekből. Az elektromgyenge kölcsönhatás Glashow-Weinberg-Salam elmélete. Mértékbozon tömegek. Fermion tömegek. A Higgs bozon. Mértékbozon - fermion, fermion - fermion csatolások. Standard modell diszkrét szimmetriái: C,P,T szimmetria. CP szimmetria sérülése. Cabibbo-Kobayashi-Maskawa mátrix. Anomáliamentesség.

## 14. Spontán sértett mértékelméletek kvantálása

Abeli példa: komplex skalármező  $U(1)$  mértékmezőhöz csatolva.  $R_\xi$  mérték.

Feynman szabályok mértékbozon, Higgs, Goldstone bozon és a szellem térre. Fermion- fermion szórás elemzése. Lorentz, Feynman 't Hooft, Unitér mérték. Perturbációs számítás  $\xi$  függése. Nem Abeli példa  $O(N)$  vektormező  $SO(N)$  mértékmezőhöz csatolva. Goldstone bozon ekvivalencia tétel. Top quark bomlása.