

# Sylabus přednášky

## *Kvarky, partony a kvantová chromodynamika*

### Jiří Chýla

#### A. Úvod

1. Základní částice a síly standardního modelu
2. Schéma rozptylového experimentu, účinný průřez
3. Rutherfordův rozptyl, popis v klasické mechanice, interpretace výsledků
4. Rozptyl v nerelativistické kvantové mechanice, Bornova aproximace
5. Rozptyl na strukturovaném terči, formfaktory

#### B. Teorie grup

1. Základní pojmy teorie grup a jejich reprezentací, reducibilita a ireducibilita, přímý součet a součin grup a jejich reprezentací
2. Lieovy grupy a algebry, generátory, strukturní konstanty, komutační relace, prosté a polo-prosté algebry, přidružená reprezentace
3. Cartanova podalgebra, posunovací operátory, kořeny a váhy, nejvyšší váha
4. Vztah mezi kořeny algebry a vahami reprezentací, skládání kořenů, grafické znázornění vah a kořenů
5. Jednoduché kořeny prostých Lieových algeber, fundamentální reprezentace.
6. Weylova symetrie váhových diagramu multiplétů
7. Reálné a komplexní reprezentace Lieových algeber

#### C. Grupy SU(2) a SU(3)

1. Konstrukce multiplétů grupy SU(2) pomocí posunovacích operátorů
2. Fundamentální reprezentace grupy SU(2) a redukce jejích přímých součinů
3. Izospin a jeho fyzikální význam, izospinová invariance pion-nukleonových interakcí
4. Gell-Mannovy matice, fundamentální reprezentace grupy SU(3)
5. Konstrukce multiplétů grupy SU(3) pomocí posunovacích operátorů
6. Základní multiplety grupy SU(3)
7. Redukce přímých součinů reprezentací grupy SU(3)

#### D. Nerelativistický model konstituentních kvarků

1. Experimentální evidence pro izospinovou a unitární (tj. SU(3)) symetrii hadronů
2. Kvarky jako dynamická podstata SU(3) symetrie
3. Kvarkové složení základních multiplétů baryonů a mezonů
4. Kvarkový model se spinem, SU(6) symetrické vlnové funkce baryonů, magnetické momenty, konstituentní hmotnosti
5. Težké kvarky (půvabnost a bottom), jak byly objeveny, spektrum pozorovaných stavů, teoretický popis
6. Problémy konstituentního kvarkového modelu, statistika kvarků, uvěznění kvarků
7. Pojem barvy kvarků, semikvantitativní popis barevných sil

## E. Partonový model

1. Základní kinematické vztahy pro pružný a nepružný rozptyl leptonů na nukleonech
2. Pružný rozptyl elektronu na bodovém fermionu
3. Pružný rozptyl elektronu na reálném protonu, Rosenbluthova formule, formfaktory, experimentální svědectví o rozměru protonu
4. Hluboký nepružný rozptyl elektronu na nukleonu, strukturní funkce, základní experimentální fakta, Bjorkenovo škálování, Callan-Grossova relace
5. Základní myšlenka partonového modelu, distribuční funkce partonů v nukleonu, spin partonů, ztotožnění nabitých partonů s kvarky
6. Experimentální informace o tvarech distribučních funkcí kvarků, valenční distribuční funkce, součtová pravidla a jejich interpretace, existence neutrálních partonů
7. Partonový model pro slabé interakce, helicity a točivost, univerzalita distribučních funkcí
8. Prostorověčasový popis srážky leptonů s nukleony, hadronizace partonů
9. Model nezávislé fragmentace, fragmentační funkce, jejich tvary a symetrie
10. Partonový model pro elektron-pozitronové srážky, úhlové rozdělení hadronů
11. Produkce Drell-Yanových dileptonů v hadron-hadronových srážkách

## F. Základy kvantové chromodynamiky

1. Konstrukce lagrangiánu v kvantové elektrodynamice, princip globální a lokální kalibrační invariance, propagátor fotonu, kalibrační fixující člen, longitudinální foton
2. Barva kvarků a její matematický popis, požadavek neabelovské kalibrační invariance, lagrangián kvantové chromodynamiky (QCD), základní rozdíl mezi QED a QCD
3. Feynmanova pravidla QCD, operace s barevnými maticemi
4. Základní výpočty v poruchové QCD ve stromové aproximaci (pružný rozptyl kvarku na kvarku a kvarku na gluonu), srovnání účinných průřezů základních binárních procesů
5. Kalibrační invariance a existence třígluonového vrcholu
6. Hmotové singularity a Kinoshita-Lee-Nauenbergův teorém, pojem jetu
7. Základní myšlenka procedury renormalizace elektrického a barevného náboje, běžící vazbová konstanta, asymptotická volnost QCD

## G. QCD a partonový model

1. Základní schéma popisu tvrdých procesů v rámci QCD
2. Metoda ekvivalentních fotonů v QED, pojem větvicí funkce
3. Větvení partonů v QCD, větvicí funkce v nejnižším řádu, jejich vlastnosti
4. Základní myšlenka faktorizace paralelních singularit, definice oblečených distribučních funkcí partonů v hadronech
5. Popis narušení škálování v rámci QCD
6. Evoluční rovnice pro distribuční funkce partonů v hadronech, metody jejich řešení, tvar v prostoru momentů