

QCD

اسامی مترجمین

شہریور ۱۳۸۹

فهرست مطالب

۷	۱ اساس QCD
۷	۱.۱ رنگ $SU(3)$

لیست تصاویر

مقدمه

یکی از چهار نیروی بنیادی در طبیعت کوانتوم کرومودینامیک (QCD)، نظریه برهم کنش‌های قوی می‌باشد. این نظریه برهم کنش بین کوارک‌ها و گلوئون‌ها را شرح می‌دهد، به ویژه اینکه چطور با پیوستن به یکدیگر دسته‌ای از ذرات موسوم به هادرون‌ها را تشکیل می‌دهند که پروتون و نوترون‌ها شناخته‌شده‌ترین مثال از این دسته است. در سال ۱۹۷۰ QCD به عنوان نظریه‌ای سازگار با ریاضیات منتشر شد و امروزه به عنوان یکی از سنگ‌های زیربنایی مدل استاندارد در ذرات بنیادی و برهم کنش‌های قوی آنها بایکدیگر قابل ملاحظه است.

در سال ۱۹۶۰ فیزیک بر خوردکننده‌ها آنچنان رشد نمود که از بخش کوچکی از QCD هم اکنون به روش اصلی در تحقیقات فیزیک انرژی بالا مبدل شده است. برخوردکننده‌های ذرات بیشترین انرژی مرکز جرم موجود را تولید می‌کنند که می‌توان بدین وسیله در کوتاهترین فواصل ساختار ماده را بررسی کرده و نیز تمامی برهم کنش‌های بنیادی به غیر از گرانش را با جزئیات بی‌سابقه‌ای مطالعه کرد. در این کتاب برای محدود کردن میدان بحث و منحرف نشدن از حوزه تخصصی مان عمده‌تأروی جنبه‌هایی از برهم کنش‌های قوی متمرکز می‌شویم که در فیزیک برخوردکننده‌ها توسط QCD توصیف می‌شود.

یکی از موفقیت‌های فیزیک ذرات جدید شناخت QCD به عنوان علت برهم کنش‌های قوی در برخوردکننده‌ها است که شگرف‌ترینشان تولید کوارک سنگین و جت هادرونی است. هدف ما نشان دادن دستاورد‌های این ناحیه است با خاطر نشان کردن مسیرهایی که نیاز به توسعه‌ی بیشتری دارند. مطالعه‌ی QCD بیش از پیش جنبه‌ی مهندسی نیز دارد. برای کار با پتانسیل در برخوردکننده‌های انرژی بالا لازم است درک کمی از QCD داشته باشیم تا بتوانیم دیگر قسمت‌های فیزیک مخصوصاً باریکه‌های هادرونی *circulating* را مطالعه کنیم.

بعد از توصیف کلی لاگرانژی QCD در فصل اول، روی خواص بسیار مهم آزادی مجانبی و مقیدسازی رنگ در فصل دوم متمرکز می‌شویم. فن محاسباتی مناسب برای فواصل کوتاه در برخوردکننده‌ها نظریه‌ی اختلال است که ناشی از آزادی مجانبی QCD است. با فرض اینکه

خواننده با این مباحث آشنایی کمی دارد، رفتار QCD اختلالی در مقایسه با الکترودینامیک کوانتومی اختلالی توسعه یافته است. در فصل های بعدی توضیح خواهیم داد که چگونه سطح مقطع در فواصل کوتاه محاسبه می شود و اینکه چطور نتایج محاسبات با تجربه مقایسه می گردد. در فصل های ۳ و ۴ این کارها را برای فرایندهای QCD کلاسیک نابودی الکترون-پوزیترون در انرژی بالا و پراکندگی هادرون-لیتون ناکشسان عمیق به طور جزئی انجام می دهیم. سپس در فصل های ۵ و ۶ با خواص جت های هادرونی آشنا می شویم در حالی که در فصل ۷ در مورد تولید جت ها و فوتون ها در برخورد های هادرون - هادرون بحث خواهیم کرد.

بخش عظیمی از فیزیک برخورد کننده ها مربوط به تولید ذرات سنگین است: بوزون های هیگز و $gauge$ بر هم کنش های ضعیف، وکوارک های سنگین. خواص بر هم کنش های ضعیف در فصل ۸ مرور می شود و سپس در فصل های ۹ تا ۱۱ تولید و واپاشی ذرات با تأکید بر جنبه های QCD آن ها مورد بحث قرار می گیرد. سرانجام در فصل ۱۲ روش های مختلف اندازه گیری یک پارامتر بنیادی در QCD بنام ثابت جفت شدگی قوی $Alfas$ خلاصه می کنیم.

بسیاری از چالش های نظری QCD اختلالی ناشی از بسط روش های $well - tried$ در QED به متن بسیار پیچیده تر و جدید نظریه ی پیمانه ای غیر آبی است. بحرال تفاوت های مهمی بین دو نظریه وجود دارد که عمدتاً به دلیل کوانتوم های QCD ، کوارک ها و گلوئون ها، شباهت الکترون ها و فوتونها در QED که در داخل هادرون ها محدود شده اند و به صورت آزاد مشاهده نمی شوند می باشد. در فواصل طولانی اثر مقید سازی غالب است و روش های یر اختلالی مناسب هستند. پیشرفته ترین روش، روش QCD شبکه است که در فصل ۲ به اختصار مرور می شود. حتی در کوتاهترین فواصل نیز نمی توان از اثرات مقید سازی اجتناب کرد، چون حالات ورودی یا خروجی مجانبی شامل هادرون ها می باشد. درحال حاضر روش شبکه نمی تواند این اثرات را در فرایندهای پراکندگی دینامیکی پیش بینی کند.

در بحرال نظریه پردازان $factorization$ دینامیک کوتاه برد و بلند برد را برای کمیت های مشخص از هم جدا می کنند تا بعد بتوان به وسیله ی $parametrizations$ یا محاسبات مدلی در موردشان بحث کرد. این امر منجر به مهارت های برآزش و توابع ساختار $modelling$ (برای هادرون های ورودی) و توزیع های ترکش یا $hadronization$ (برای هادرون های خروجی) می شود که در موقعیت های مناسب مرور خواهد شد.

هدف ما در نوشتن این کتاب فراهم نمودن مقدمه ای برای فیزیک برخوردکننده ها با تأکید ویژه روی مطالعه ی QCD می باشد. ما قصد داشتیم کتابی بنویسیم که موضوعاتی را که امروز با آن مواجه هستیم را مرور کند و نیز پایه ی محکمی برای درک پیشرفت های آتی باشد. بنابراین نتیجه ی کار نه یک کتاب درسی است و نه یک رساله ی تحقیقاتی، بلکه ترکیبی از هر دو است.

گذشته از این اهداف تأکید کتاب روی روابط بین نظریه و تجربه است. این کتاب نتیجه‌ی سخنرانی‌هایی است که سال‌ها در مکان‌های مختلف ایراد شده است. این سطح عملیات مناسب دانشجویانی است که یک دوره نظریه میدان گذرانده‌اند. ضمناً چون تلاش کرده‌ایم مجموعه‌ی کامل‌تر از مراجعی که معمولاً در چنین کتبی یافت می‌شود را ارائه دهیم که شامل مراجع اصلی نیز هست از این لحاظ این کتاب نقطه شروع مناسبی است برای محققانی که می‌خواهند جنبه‌های ناآشنای این موضوع را بفهمند. به همین دلیل ترجیح دادیم که مراجع را به جای آخر کتاب در انتهای هر فصل جمع‌آوری کنیم. هر چند سعی کردیم خواننده را به مراجع معتبر ارجاع دهیم اما ملاک اصلی در انتخاب دستیابی آسان به مطالب انتشار یافته بوده است. تقدیر و تشکر

کتابنامه

- [1] M. Gell-Mann, in QCD, 20 years later, P.M Zerwas and H.A Kas-
trup (eds.), World Scientific (1993).
- [2] H. Georgi, Weak Interactions And Modern Particle Theory, Addison-
Wesley (1984).
- [3] Particle Data Group, L. Montanet et al., Review of particle Properties,
Phys. Rev. **D50** (1994) 117①
- [4] J. Steinberger, Phys. rev. **76** (1949) 1180.
- [5] R.E. Taylor, Rev. Mod. Phys **63** (1991) 573;
H.W. Kendall, Rev. Mod. Phys **63** (1991) 597;
J.I. Friedman, Rev. Mod. Phys **63** (1991) 6⑬
- [6] J.D Bjorken and S.D. Drell, Relativistic Quantum Fields, McGraw Hill,
New York (1964).
- [7] C. Itzykson and J.B. Zuber, Quantum Field Theory, McGraw Hill, New
York (1980).
- [8] G. Stermann, Introduction to Quantum Field Theory, Cambridge (1993).
- [9] M.E. Peskin and D.V. Schroeder, An Interoduction to Quantum Field
Theory, Addison-Wesley (1995).
- [10] F. Yndurain, Quantum Chromodynamics, Springer-Verlag (1983).

- [11] T. Muta, Foundations of Quantum Chromodynamics, World Scientific (1987).
- [12] Yu.L. Dokshitzer et al., Basics Of Perturbative QCD, Editions Frontieres (1991).
- [13] A.H. Mueller, Phys.Rep. **73** (1981) 23⑤
- [14] G. Altarelli, Phys. Rep. **81** (1982) ۷
- [15] D.W. Duke and R.G Roberts, Phys. Rep **120** (1985) 27③
- [16] G. Sterman et al., Rev. Mod. Phys. **67** (1995) 15⑤
- [17] E. Abers and B.W Lee, Phys. Rep. **9** (1973) ۷
- [18] L. Faddeev and V.N. Popov, Phys. Lett. **B25** (1967) 2⑦
- [19] R.K. Ellis, Proceedings of the 1987 Theoretical Advanced Study Institute in Elementary Particle Physics, World Scientific, R. Slansky and G. West(eds.).
- [20] G. 'tHooft and M.J.G. Veltman, Diagrammar, CERN Yellow Report 73-9, published in the proceedings of the summer school, *Particle Interactions At Very High Energies*, Part B, Louvain (1973);

فصل ۱

اساس QCD

این فصل را با مروری بر قلب نظریه QCD یعنی مهم ترین شاهد برای وجود درجه آزادی رنگ شروع می کنیم. سپس لاگرانژی QCD و قوانین فاینمنی که از آن پیروی می کنند را بررسی می کنیم. و در ادامه بحث را در مورد تقارن های تقریبی و دقیق این نظریه پی می گیریم.

۱.۱ رنگ $SU(3)$

اساسی ترین اصل QCD این است که ماده هادرونی از کوارک ساخته شده است

کتابنامه

- [1] M. Gell-Mann, in QCD, 20 years later, P.M Zerwas and H.A Kas-
trup (eds.), World Scientific (1993).
- [2] H. Georgi, Weak Interactions And Modern Particle Theory, Addison-
Wesley (1984).
- [3] Particle Data Group, L. Montanet et al., Review of particle Properties,
Phys. Rev. **D50** (1994) 117①
- [4] J. Steinberger, Phys. rev. **76** (1949) 1180.
- [5] R.E. Taylor, Rev. Mod. Phys **63** (1991) 573;
H.W. Kendall, Rev. Mod. Phys **63** (1991) 597;
J.I. Friedman, Rev. Mod. Phys **63** (1991) 6⑬
- [6] J.D Bjorken and S.D. Drell, Relativistic Quantum Fields, McGraw Hill,
New York (1964).
- [7] C. Itzykson and J.B. Zuber, Quantum Field Theory, McGraw Hill, New
York (1980).
- [8] G. Sterman, Introduction to Quantum Field Theory, Cambridge (1993).
- [9] M.E. Peskin and D.V. Schroeder, An Interoduction to Quantum Field
Theory, Addison-Wesley (1995).
- [10] F. Yndurain, Quantum Chromodynamics, Springer-Verlag (1983).

- [11] T. Muta, Foundations of Quantum Chromodynamics, World Scientific (1987).
- [12] Yu.L. Dokshitzer et al., Basics Of Perturbative QCD, Editions Frontieres (1991).
- [13] A.H. Mueller, Phys.Rep. **73** (1981) 23⑤
- [14] G. Altarelli, Phys. Rep. **81** (1982) ۛ
- [15] D.W. Duke and R.G Roberts, Phys. Rep **120** (1985) 27③
- [16] G. Sterman et al., Rev. Mod. Phys. **67** (1995) 15⑤
- [17] E. Abers and B.W Lee, Phys. Rep. **9** (1973) ۛ
- [18] L. Faddeev and V.N. Popov, Phys. Lett. **B25** (1967) 2⑦
- [19] R.K. Ellis, Proceedings of the 1987 Theoretical Advanced Study Institute in Elementary Particle Physics, World Scientific, R. Slansky and G. West(eds.).
- [20] G. t'Hooft and M.J.G. Veltman, Diagrammar, CERN Yellow Report 73-9, published in the proceedings of the summer school, *Particle Interactions At Very High Energies*, Part B, Louvain (1973);