

Tytuł: Amplitudy rozpraszania w sektorze Yanga-Millsa Chromodynamiki Kwantowej

Autor: Hiren Kakkad

Abstrakt

Amplitudy rozpraszania są jednymi z najważniejszych obiektów w kwantowej teorii pola, ponieważ stanowią podstawę obliczeń przekrojów czynnych mierzonych w akceleratorach cząstek. Tradycyjnie, amplitudy rozpraszania były obliczane za pomocą diagramów Feynmana. Jednakże, w teoriach pola zawierających samooddziaływania, takich jak teoria Yanga-Millsa, będąca częścią Chromodynamiki Kwantowej (QCD), opisująca oddziaływania gluonów, technika ta staje się niepraktyczna, ponieważ liczba diagramów rośnie jak silnia liczby zewnętrznych gluonów.

W niniejszej pracy, wyprowadzamy nowe klasyczne działanie dla czysto gluonowego sektora QCD, które wprowadza nowe wierzchołki oddziaływań (lokalne w czasie na stożku świetlnym), posiadające co najmniej cztery nogi i ustalone skrętności. Dzięki temu metoda ta umożliwia efektywne obliczanie gluonowych amplitud rozpraszania na poziomie drzewiastym. Demonstrujemy to obliczając kilka drzewiastych amplitud, aż do 8 zewnętrznych nóg, gdzie maksymalna liczba diagramów planarnych wyniosła 13 (w technice diagramów Feynmana, drzewiasta amplituda 8-punktowa wymagałaby dziesiątek tysięcy diagramów). Nowe działanie uzyskano wykonując kanoniczną transformację pól działania Yanga-Millsa na stożku świetlnym, eliminując trójpunktowe wierzchołki oddziaływania. Transformacja ta zastępuje podstawowe pola gluonowe teorii Yang-Millsa liniami Wilsona - geometrycznymi obiektami umożliwiającymi transport równoległy wektorów w zakrzywionych przestrzeniach. Nowe działanie rozszerza tzw. działanie MHV, czyli działanie realizujące metodę Cachazo-Svrcek-Witten, która wykorzystuje amplitudy rozpraszania Maximally Helicity Violating (MHV) jako wierzchołki oddziaływań.

Na poziomie pętlowym, zarówno działanie MHV, jak i nowa działanie okazują się niekompletne, ponieważ wyeliminowane potrójne wierzchołki gluonowe o skrętnościach $(++-)$ i $(+-)$ dają przyczynki do diagramów pętlowych. Aby systematycznie wprowadzić poprawki pętlowe w pierwszej kolejności do działania MHV, użyliśmy jednopętlowego działania efektywnego, w którym rozpoczynamy od jego konstrukcji dla teorii Yang-Millsa, a następnie wykonujemy transformację pól, aby uzyskać działanie MHV wraz z wkładami pętlowymi. Zweryfikowaliśmy, że nie ma brakujących przyczynków pętlowych, poprzez obliczenie 4-punktowych amplitud na poziomie jednej pętli dla gluonów o dodatniej skrętności $(+++)$ oraz gdzie jeden z nich ma skrętność ujemną $(++-)$. Takie obliczenia nie były możliwe w teorii MHV. Główną zaletą tego podejścia jest to, że transformacja uwzględnia wszystkie drzewiaste połączenia, otrzymane łącząc wierzchołki trój-gluonowy $(++-)$ z zewnętrznymi nogami wkładów pętlowych. W rezultacie, liczba diagramów wymaganych do obliczenia amplitud jednopętlowych jest znacznie mniejsza w porównaniu działaniem Yanga-Millsa.

Następnie rozszerzamy to podejście, w celu opracowania poprawek pętlowych w nowym działaniu opartym na liniach Wilsona. Rozpoczynamy od jednopętlowego działania efektywnego Yanga-Millsa, a następnie wykonujemy transformację pól, aby uzyskać nowe działanie wraz z poprawkami pętlowymi. W tym przypadku, liczba diagramów wymaganych do obliczenia jednopętlowej amplitudy o wielu zewnętrznych nogach okazuje się mniejsza niż w jednopętlowym działaniu efektywnym MHV. Wynika to z faktu, że transformacja uwzględnia wszystkie drze-

wiaste połączenia, tworzone łącząc zarówno trójgluonowy wierzchołek $(++-)$ jak i $(+-)$, z zewnętrznymi nogami wkładów pętlowych. Aby zweryfikować nowe jednopętlowe działanie efektywne, obliczyliśmy amplitudy jednopętlowe dla skrętności gluonów $(++++)$, $(+++-)$, $(++--)$, $(----)$ i $(---+)$.

Mimo że nowe działanie jest kompletne na poziomie pętli, główną jego wadą jest to, że wciąż używa wierzchołków Yang-Millsa wewnątrz pętli, zaś nowe efektywne wierzchołki są obecne jedynie na zewnątrz pętli. W związku z tym, wyprowadzamy jednopętlowe działanie efektywne za pomocą innego podejścia, w którym najpierw wykonujemy kanoniczną transformację pól działania Yang-Millsa, przekształcając również człony zależne od zewnętrznych prądów, a następnie całkujemy fluktuacje kwantowe aby uzyskać działanie efektywne. W ten sposób nowe wierzchołki oddziaływań naszej akcji są jawnie obecne w pętli. Testujemy to nowe podejście najpierw dla działania MHV i pokazujemy, że otrzymane w ten sposób jednopętlowe działanie efektywne MHV, jest zarówno jednopętlowo-kompletne, jak i ma wierzchołki MHV w pętli. Ponieważ w pętli występują "większe" wierzchołki oddziaływań w porównaniu z wierzchołkami Yanga-Millsa, wzrasta efektywność obliczania amplitud jednopętlowych o wyższej krotności. Wreszcie, rozszerzamy to podejście na nasze nowe działanie oparte na liniach Wilsona i wyprowadzamy jednopętlowe działanie efektywne, tak, aby wierzchołki oddziaływań nowego działania były jawne w pętli. Ponieważ nowe wierzchołki oddziaływań są „jeszcze większe” w porównaniu do wierzchołków MHV, obliczanie jednopętlowych amplitud wymaga jeszcze mniej diagramów.

Badania będące przedmiotem tej rozprawy dostarczają nowej, opartej na teorio-polowym działaniu, metody umożliwiającej efektywne obliczanie czysto gluonowych amplitud rozpraszania na poziomie jednej pętli.

Glenn Kent Kerz

27/06/2023

