

# Oddziaływanie w kwantowej teorii pola

Wojciech Dybalski

Wyobraźmy sobie zderzenie elektronu i pozytronu w akceleratorze. Jakie jest prawdopodobieństwo, że w tym procesie zostanie wyprodukowana cząstka Higgsa? Fizycy odpowiadają na takie pytania przy pomocy kwantowej teorii pola. Zazwyczaj stosowana metoda obliczeniowa w tej teorii daje odpowiedź w postaci nieskończonej sumy kolejnych przybliżeń. Biorąc pod uwagę jedynie kilka pierwszych składników tej sumy, często otrzymuje się znakomitą zgodność z doświadczeniem. Z drugiej strony, jeśli zsumowalibyśmy wszystkie składniki, wynik najprawdopodobniej byłby nieskończony. Czy można mówić o zgodności teorii z doświadczeniem w tej sytuacji?

W świetle powyższego dylematu problem spójności logicznej oddziałującej kwantowej teorii pola na czterowymiarowej czasoprzestrzeni pozostaje otwarty. Kwestia ta leży u podstaw jednego z *Problemów milenijnych* Instytutu Matematycznego Claya, który dotyczy ścisłej matematycznej konstrukcji teorii Yanga-Millsa. Fizyczny kontekst problemu jest jasny: ta kwantowa teoria pola jest podstawową cegiełką Modelu Standardowego fizyki cząstek elementarnych. Od strony matematycznej zasadne jest jednak pytanie, co właściwie ma zostać skonstruowane.

Szukając odpowiedzi na takie pytania, już w latach pięćdziesiątych sformułowano pierwsze systemy aksjomatyczne dla kwantowej teorii pola. Nadają one ścisłe matematyczne znaczenie pewnym bardzo ogólnym prawom fizycznym, takim jak stabilność materii, niezależność od wyboru inercjalnego układu odniesienia, bądź wzajemna niezależność pomiarów przeprowadzonych w obszarach rozdzielonych przestrzennie. Jak się okazało, tak ogólne założenia wystarczają, by w konsystentny sposób zdefiniować prawdopodobieństwa procesów fizycznych polegających na zderzeniach cząstek. Nie udało się jednak znaleźć naturalnych założeń gwarantujących oddziaływanie między cząstkami bądź produkcję cząstek w tych procesach. Również nie wiadomo, po pięciu dekadach badań, czy istnieją jakiegokolwiek oddziałujące kwantowe teorie pola na czterowymiarowej czasoprzestrzeni w ramach wyżej wspomnianych systemów aksjomatycznych.

Nie zamierzamy konstruować teorii Yanga-Millsa w ramach tego projektu. Natomiast naszym celem jest wyjaśnienie problemu oddziaływania w aksjomatycznej kwantowej teorii pola i otwarcie nowych kierunków badań dotyczących konstrukcji prostszych oddziałujących teorii.

Zadanie badawcze (A) dotyczy nieoczekiwanych współzależności pomiędzy oddziaływaniem w kwantowej teorii pola a nieergodycznym zachowaniem pewnego pomocniczego systemu. Ergodyczność oznacza, że uśrednianie po czasie wielkości fizycznych jest tożsame z uśrednianiem ich po pewnym niezależnym od czasu zespole statystycznym. Ta niezależność od czasu oznacza, wracając do kwantowej teorii pola, że konfiguracje cząstek nie ulegają zmianie w procesach fizycznych, a zatem cząstki nie oddziałują. Dowodząc pewnych *twierdzeń ergodycznych*, zamierzamy ograniczyć klasę oddziałujących teorii.

Zadanie badawcze (B) dotyczy konstrukcji kwantowych teorii pola na dwuwymiarowej czasoprzestrzeni, które powstają poprzez ograniczenie  $N$ -elementowej rodziny pól swobodnych do powierzchni sfery. Są to tak zwane  $O(N)$  *nieliniowe modele sigma*, które pod wieloma względami przypominają teorie Yanga-Millsa i model ferromagnetyka Heisenberga. Konstrukcja nieliniowych modeli sigma jest ważnym otwartym problemem fizyki matematycznej. Nasze podejście do tego zadania opiera się na przełomowych pracach M. Hairera (Medal Fieldsa 2014) dotyczących stochastycznych równań różniczkowych. Metoda kwantowania stochastycznego wiąże prawdopodobieństwa fizycznych procesów w kwantowej teorii pola z rozwiązaniami tego typu równań. Poza konstrukcją na płaskiej czasoprzestrzeni Minkowskiego planujemy również skonstruować nieliniowe modele sigma na zakrzywionej czasoprzestrzeni de Sittera.

Zadanie badawcze (C) dotyczy innych kwantowych teorii pola, sformułowanych za pomocą więzów nakładanych na teorie nieoddziałujące. W ramach tej niezbadanej jeszcze rodziny zamierzamy szukać oddziałujących kwantowych teorii pola na czterowymiarowej czasoprzestrzeni. Szczególnie obiecujące wydaje się nałożenie na pole swobodne warunku dodatniości, ponieważ w takim modelu możliwe są konkretne obliczenia. Mianowicie, prawdopodobieństwa fizycznych procesów wyrażają się wtedy poprzez całki wielomianów po podzbiorach wielowymiarowej sfery. Równocześnie będziemy badać ten model wspomnianą wyżej metodą kwantowania stochastycznego.