

prof. dr hab. Sergey Leble, emeryt
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej
Politechnika Gdańska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-952 Gdańsk

POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ FIZYKI TECHNICZNEJ
I MATEMATYKI STOSOWANEJ

Wpłynęło dnia 14.03.2016r.
L. dz. 7/WFTiMS/SN/2016
Zał. 1

Rozprawa doktorska mgr inż. Klaudii Wrzask składa się z dziesięciu głównych części, listy literatury i załączników.

Część pierwsza jest w gruncie rzeczy opisowa, dotyczy podstawowych pojęć rozprawy: rzutu stereograficznego, przestrzeni Minkowskiego oraz algebry spinorów, a także wprowadza notację indeksów Penrose'a dla tetrad.

Część druga jest poświęcona formalnej analizie alternatywnego podejścia M. Czachora do kwantyzacji pola elektromagnetycznego, wykorzystującego pewną klasę redukowalnych reprezentacji algebry kanonicznych relacji komutacyjnych (CCR).

Część trzecia – to wprowadzenie przestrzeni polaryzacji fotonów, w tym operatorów obniżających i podwyższających energie czaso-podobnych fotonów, oraz ich działanie na stan próżni.

Czwarty rozdział to konstrukcja algebry redukowalnej reprezentacji czterowymiarowego oscylatora. Najbardziej ciekawymi są podrozdziały 4.5, 4.6 w których są rozpisane wielkości teorii Maxwella oraz ich kwantowe odpowiedniki, w tym stany Glaubera. Nowym elementem teorii w pracy służą wzory na operator przesunięcia stanów pola (4.4) w formalizmie teorii reprezentacji redukowalnej (4.8).

Część piąta daje podstawę do analizy wyników teorii z punktu widzenia relatywistycznego. Wiadomo, że podstawowe pojęcia teorii cząstek elementarnych budują się na bazie kwantowej grupy Poincarego $SL(2,C)$. Transformacje Lorentza jednak są potrzebne dla konstrukcji pól lokalnych. Podrozdziały 5.1, 5.2 reprezentują elementy tej teorii w odpowiednich bazach spinowych grupy $SL(2,C)$. Macierze są starannie rozpisane, z dojściem do transformacji typu Bogoliubowa (5.4).

Jedenasty podrozdział 5.11 poświęcony jest badaniu niezmienniczości teorii pól kwantowych względem transformacji cechowania. Udowodniono, że odpowiednik tej transformacji istnieje na poziomie tzw. „spin-frame” teorii kowariantnych reprezentacji redukowalnych. Podrozdziały ostatni i przedostatni prezentują czteropędy i niezmienniki

teorii, jako elementy teorii reprezentacji grupy Poincarego oraz ich kombinacji z transformacjami cechowania.

Rozdział szósty, który fizycznie nie zajmuje wiele miejsca w treści rozprawy, jest niezbędny dla kompletności głównych wywodów pracy, dotyczących czterech stanów Bella. Część rozdziału poświęcona jest porównaniu przewidywań formalizmu zaproponowanego przez autorką i promotora, sformułowanie dla algebry N-oscylatorów, z przewidywaniami teorii standardowej oraz z odpowiednimi eksperymentami dwufotonowymi.

Następny, siódmy rozdział rozważa własności stanów dwufotonowych o różnym stopniu korelacji.

Mam uwagi co do wstępu do rozdziału ósmego (szczegóły podaję poniżej), ale to nie oznacza że treść tego rozdziału nie jest przydatna. Powiem więcej, fizyka dwucząstkowa, w tym – dwufotonowa, moim zdaniem jest fizyką XXI wieku. Teoria kwantowa, nawet w stosunku do zagadnień typowo wielocząstkowych, zawsze krążyła wokół kombinowania stanów jednocząstkowych. Przykładami tego są teoria atomu/cząsteczek w oparciu o przybliżenie Hartree-Focka oraz teoria pola kwantowego w przestrzeni Focka.

Chyba tylko teoria atomu helu atakowała „prawdziwy” opis stanów dwuelektronowych bez rozdzielania zmiennych poszczególnych elektronów (patrz prace Hilleraasa [Ober den Grundzustand des Heliumatoms, Hylleraas E A, 1929 Z. Phys. 54 347] i Focka [V.A. Fock, Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz. 18, 161 (1954)], z dalszym rozwinięciem w pracach np. Ermolaewa [A.M. Ermolaev, G.B. Sochilin, 23S state of helium, Dokl. Akad. Nauk SSSR 155, 1050 (1963)]). Główną przyczyną problemu rozdzielania zmiennych jest oddziaływanie elektronów. W przypadku fotonów tego problemu nie ma, jeśli nie uwzględniać efektów pola kwantowego i własności próżni.

Początek wieku XXI wyznacza wzrost zainteresowania tzw. informatyką kwantową, w której dwufotonowe eksperymenty typu EPR (opisane we wstępie do rozdziału ósmego), będąc dwucząstkowymi z definicji, odgrywają poważną rolę.

Autorka buduje obserwable typu „Tak-Nie” w podrozdziale 8.1 i funkcje korelacji dla konkretnych kombinacji fotonów, w tym – „stanów Bella” (8.2-8.4). Wyciąga wniosek, że średnia EPR w reprezentacjach redukowalnych, z kątem zależnym od pędu, może dostarczyć informacji o przesunięciu fazy, co ją wyróżnia w porównaniu z modelem standardowym.

Już sam tytuł rozdziału dziewiątego stawia poważne pytanie o kowariantność wniosków wyciągniętych z eksperymentów typu EPR. Cytowanie szeregu odniesień i odpowiednia dyskusja pozwala określić miejsce pracy w nurcie innych badań naukowych.

Dwie strony konkluzji i wyników końcowych dziesiątego rozdziału dają czytelnikowi

zwarty wgląd w całość, podkreślając najważniejsze tezy rozprawy, powtarzając elementy informatyki kwantowej w postaci kowariantnej względem transformacji Lorentza.

Podsumowując, praca posiada wszystkie cechy pracy zakończonej. Rzuca się w oczy ilość wykonanych rachunków oraz obszerność potrzebnej wiedzy matematycznej. Rozdziały pierwszy i drugi rozprawy doktorskiej dotyczą uogólnienia formalizmu elektrodynamiki kwantowej. Autorka proponuje nowe podejście do znanego problemu opisu stanów dwucząstkowych EPR teorii kwantowej: fizyki dwufotonowej – ważnego elementu fizyki współczesnej.

Praca wskazuje na zjawiska fizyczne optyki nieliniowej (dwufotonowe), które ewentualne mogłyby być zaobserwowane po spełnieniu pewnych warunków przy skończonej wartości parametru teorii „N”. W rozdziałach 6 (wzór 452) i 8 (jako skutek dla korelacji) wymienione są człony, które dążą do zera przy N zmierzającym do nieskończoności.

Przeprowadzono analizę modeli fenomenologicznych dla relatywistycznych efektów w eksperymentach typu EPR dla pól fotonowych, które mogłyby wykryć rolę funkcji $Z(k)$ charakteryzującej próżnię (rozdział 9).

Pokazano, że zaproponowane podejście do kwantyzacji pociąga za sobą mechanizm automatycznej regularyzacji wyrażeń znanych z podejścia standardowego, patrz rozdział 4 (niezmienniczy hamiltonian, zbieżność energii próżni).

Udowodniono, że można podtrzymać niezmienniczość względem transformacji Lorentza operatorów dla czterech stanów Bella, jeśli wprowadzić funkcje polaryzacji zależnej od pędu, która kompensuje fazę Wignera (rozdział 7).

Znaleziono mocną argumentację za tezą, że operator schodkowy (ladder), który anihiluje próżnię, powinien być zinterpretowany jako operator podwyższający energię (rozdział 3).

Narzucają się następujące pytania.

1. Czy nowe podejście w części dotyczącej renormalizacji jest równoważne obecnym modelom regularyzacji?
2. Model zawiera w sobie parametr N . Czy są jakieś sposoby (idee) określające dobór tego parametru, oprócz fenomenologii?
3. Czym jest „foton” i jego dodatkowe składowe polaryzacji w nowej teorii oraz w ujęciu zwykłych równań Maxwella.
4. Czy istnieje możliwość zastosowania wyników pracy do fermionów?

Dalsze uwagi:

1. Uwaga ogólna, dotyczy samej pracy EPR. Są historyczne artykuły na ten temat: N. Bohr: , Phys. Rev., 48, 696, 1935; V. Fock: В.А. Фок, А. Эйнштейн, Б. Подольский, Н. Розен, Н. Бор «Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным?» UFN 16 436–457 (1936), z których wynika że odpowiedź na pytanie, postawione w tytule pracy EPR, była błędna. Brakuje mi komentarza na ten temat, ciekawe byłoby usłyszeć go w czasie obrony.
2. Brakuje mi czegoś w rodzaju *Zasady odpowiedniości*: „Wikipedia: zasada dotycząca relacji pomiędzy dwiema teoriami fizycznymi, z których jedna jest uogólnieniem bądź rozszerzeniem drugiej, wcześniejszej (klasycznej) teorii. Głosi ona, że w pewnych warunkach równania teorii ogólniejszej stają się identyczne z równaniami teorii klasycznej.” Taka zasada mogłaby teoretycznie określić wartość parametru N .
3. Chciałbym widzieć w rozprawie dot. kwantowania choć elementy próby nawiązania do podstawowej pracy Heisenberga z 1925 roku, albo do prac, w których można znaleźć motywacje dla kroku w stronę głównej tezy tej pracy [np. w J. R. Aitchison et al. [Understanding Heisenberg’s ‘magical’ paper of July 1925: a new look at the calculational details, arXiv:quant-ph/0404009v1 1 Apr 2004], bezpośrednio związanej z eksperymentem.
4. Istnieje szereg prac, np. [G. Sardanashvily, International Journal of Theoretical Physics, Vol. 41, No. 8, August 2002] o nie-Fokowskich reprezentacjach CCR. Czy można mówić o redukowalnych reprezentacjach jako mających relacje do “infinite-dimensional nuclear space”.
5. Literówka: na s. 70 termin „center of mass” napisano jako „centre of mas”.

Na koniec zauważę, iż brak jest dyskusji na temat terminologii. Istnieje bardzo dużo prac dotyczących kwantyzacji za pomocą reprezentacji redukowalnych (np. John R. Klauder, Beyond conventional quantization, Cambridge UP, s. 293; F. Strocchi, An introduction to the mathematical structure of quantum mechanics: a short ... Advanced Studies in Math. Phys. v. 27). W streszczeniu występuje termin „relatywistyczne korelacje EPR fotonów”, to brzmi jak coś, co potrzebuje osobnej definicji.

Rozprawa doktorska jest przygotowana starannie zarówno pod względem poprawności językowej, jak i organizacji rozdziałów, kolejności tez i odniesień do źródeł. Rozdział pierwszy mógłby posłużyć jako tekst dydaktyczny. Silną stroną proponowanego

sformułowania jest jego wewnętrzna spójność, co może być wskazówką jeśli chodzi o wybór kierunku dalszych badań.

Jestem przekonany, że rozprawa doktorska mgr inż. Klaudii Wrzask spełnia wszystkie wymogi stawiane pracom doktorskim i może być dopuszczona do dalszych etapów nadania stopnia doktora nauk fizycznych z wyróżnieniem.

Gdańsk, 11.03.2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jedre', is located in the upper right quadrant of the page.

