**Komentarze do**
**“Lectures on Classical and Quantum Theory of Fields”**

**1.** Przygotowując drugie wydanie tego podręcznika usunęliśmy zauważone błędy. Niestety, kilkanaście przeoczyliśmy. Poprawiamy je w Erracie do drugiego wydania.

Istotnej zmianie uległ rozdział piąty “Relativistic Spinor Fields”, w którym napisano od nowa część dotyczącą pola Majorany, ponieważ pojawił się istotny nowy fakt: znaleziono lagranżian dla bezmasowego pola Majorany w wersji bispinora o składowych rzeczywistych. Takie pole Majorany jest omawiane w podrozdziale 5.4. Innym wariantem pól fermionowych są pola pseudoklasyczne, których składowe antykomutują. Poświęcono im oddzielny podrozdział 5.5.

**2.** Przygotowuję rozdział poświęcony QED w wycechowaniu Coulomba. Udostępnię go tutaj, gdy tylko będzie gotowy.

**3.** Pisanie podręcznika jest okazją do przemyślenia różnych fundamentalnych zagadnień. Czasem prowadzi to do postawienia interesujących zadań badawczych. Poniżej przedstawiam przykład problemu o takim rodowodzie. Następny jest opisany w punkcie 4.

Moim zdaniem, pola pseudoklasyczne są bliższe polom kwantowym niż polom klasycznym. Oczekujemy, że w wypadku prawdziwie klasycznych pól całki ruchu, np., całkowita energia i pęd, mają wartości liczbowe (w jakimś układzie jednostek). W wypadku pól pseudoklasycznych, całki ruchu otrzymane za pomocą twierdzenia Noether mają wartości w algebrze Grassmanna.

W rozważaniach teoriopolowych przyjmujemy, że wartość pola pseudoklasycznego w danym punkcie $x$ czasoprzestrzeni jest elementem skończenie wymiarowej algebry Grassmanna, przy czym algebry odpowiadające różnym punktom są niezależne. Takie ujęcie może rodzić pytania. Jak rozumieć całkę pola pseudoklasycznego po jakimś obszarze czasoprzestrzeni, jeśli wartości pola w różnych punktach należą do różnych algebr? Jak zdefiniowana jest pochodna $\partial\psi^\alpha(x)/\partial x^\mu$? Różnica $\psi^\alpha(x+a) - \psi^\alpha(x)$ nie musi znikać gdy $a \to 0$, bo dla $\psi^\alpha(x)$ nawet ciągłość względem $x$ nie jest zdefiniowana.

Zamiast całki, rozpatrzmy nieskończoną sumę. Myślę, że taki obiekt należy traktować jako sumę formalną, która ma wszystkie algebraiczne własności sumy, ale nie definiujemy jej zbieżności. Zatem taka suma nie ma określonej wartości w jakiejś algebrze Grassmanna. Jest to podobne do iloczynów formalnych wprowadzonych w rozdziale szóstym przy kwantowaniu pól swobodnych. Co do pochodnej, wydaje się, że wystarczy przyjąć, iż jest to transformacja liniowa elementów grassmannowskich $\psi^\alpha(x)$ dana wzorem

$$\frac{\partial\psi^\alpha(x)}{\partial x^\mu} = \int d^4y \; \frac{\partial\delta(x-y)}{\partial x^\mu}\psi^\alpha(y).$$

Jądro całkowe tej transformacji jest osobliwe, wskazana byłaby jakaś regularyzacja delty Diraca. Zatem pochodna pola grassmannowskiego wymaga regularyzacji! Takie ujęcie pól grassmannowskich jest wystarczające do obliczania feynmanowskich całek po trajektoriach. Niemniej jednak, myślę że warto dopracować jego stronę matematyczną.

**4.** Uważam, że nie należy ukrywać przed studentami faktu, iż pola swobodne są dystrybucjami o wartościach operatorowych. Wyrażenie typu $\int d^4x \; \hat{\phi}^4(x)$, dające samooddziaływanie pola skalarnego, nie jest matematycznie zdefiniowane. Trzeba raczej rozważać iloczyn zregularyzowany, mający postać

$$\int d^4x_1 d^4x_2 d^4x_3 d^4x_4 \; g(x_1, x_2, x_3, x_4) \; \hat{\phi}(x_1)\hat{\phi}(x_2)\hat{\phi}(x_3)\hat{\phi}(x_4), \quad (1)$$

gdzie $g(x_1, x_2, x_3, x_4)$ jest pewną ustaloną funkcją próbną. Wyrażenie to jest matematycznie poprawne, ale niezadowalające z fizycznego punktu widzenia, bo nie jest skalarem względem transformacji Lorentza. W przykładzie renormalizacji rozważanym w podrozdziale 8.2, skuteczną i relatywistycznie niezmienniczą regularyzację rozwinięcia parturbacyjnego w modelu $\phi_4^4$, równoważną regularyzacji Pauliego-Villarsa, otrzymujemy zastępując funkcję próbną $g$ pewną dystrybucją. Wyrażenie (1) jest wtedy splotem dystrybucji. Nasuwa się pytanie, czy taka relatywistycznie niezmiennicza regularyzacja, z użyciem odpowiednio dobranych dystrybucji zamiast funkcji próbnych, jest możliwa i korzystna także w innych modelach teoriopolowych.