



Prof. dr hab. Tadeusz Andrzej Lesiak  
Instytut Fizyki Jądrowej  
Im. Henryka Niewodniczańskiego  
Polskiej Akademii Nauk  
ul. Radzikowskiego 152  
31-342 Kraków

Kraków 11. Listopada 2016 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Pateckiego  
pt. "Optimisation Analysis and Improvement of the Effective Beam Sizes  
in Accelerator Test Facility 2"**

Rozprawa doktorska p. mgr. inż. Marcina Pateckiego dotyczy wielorakich aspektów dynamiki wiązki elektronowej akceleratora badawczego ATF2, znajdującego się w ośrodku KEK w Tsukubie (Japonia). Opisane w niej badania mogą mieć istotne znaczenie dla nowych, wielkich akceleratorów liniowych elektron-pozyton, mających pracować w zakresie energii energii wiązek sięgającym nawet 1.5 TeV. Dwa takie urządzenia: ILC (International Linear Collider) oraz CLIC (Compact Linear Collider), znajdują się obecnie w fazie projektowania z planami ich ewentualnej lokalizacji, odpowiednio, w Japonii i ośrodku CERN.

Rozprawa, napisana w języku angielskim, składa się z pięciu rozdziałów i podsumowania. **W rozdziale pierwszym** przedyskutowano w sposób zwięzły i poprawny najważniejsze cechy współczesnej teorii cząstek elementarnych i ich oddziaływań, zwanej Modelem Standardowym oraz porównano ze sobą zderzacze liniowe i kołowe, a także zderzenia elektron-pozyton i proton-(anty)proton. Następnie przedstawiono w nim pokrótce program badań fizycznych, które mogłyby być przeprowadzone za pomocą nowego, wielkiego zderzacza liniowego.

Z obowiązku recenzenta odnotuje drobne potknięcia, zawarte w tej części. Stwierdzenie, iż grupa symetrii oddziaływań elektromagnetycznych  $U(1)_{EM}$  jest podgrupą dla  $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$  jest (w sensie matematycznym) nieprawdziwe. Definicja czynnika Lorentza powinna być rozszerzona o zależność  $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ . Wartości dydaktyczne tej części rozprawy podniosłoby z pewnością krótkie wyjaśnienie niektórych „podstawowych” pojęć, takich jak np. „bunch” i „train”.

**Rozdział drugi** rozprawy poświęcono zagadnieniom związanym z dynamiką wiązki w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku jej propagacji. Dla dynamiki liniowej, Autor omawia przy tym zarówno metodę wykorzystującą funkcje Couranta-Snydera jak i podejście stosujące macierze transportu. W dalszej kolejności zostały omówione dwa formalizmy uwzględniające efekty nieliniowe: symplektyczne mapowanie Taylora oraz algebraiczne metody Liego. Następnie przedstawiono najważniejsze elementy zderzacza liniowego i omówiono szczegółowo układ końcowego ogniskowania wiązki, będący zasadniczym przedmiotem rozprawy. W tej części zwraca uwagę bardzo jasne i wyczerpujące przedyskutowanie zjawiska chromatyczności wiązki wraz z objaśnieniem dwóch metod poprawiania tego niekorzystnego efektu: tzw. tradycyjnej, zwanej też dedykowaną oraz lokalnej, zaproponowanej stosunkowo niedawno (P.Raimondi i A.Seryi). Dobór tematyki tego rozdziału jak i sam opis jest właściwy. Informacje w nim zawarte są niezbędne do zrozumienia pracy badawczej Autora, opisanej w dalszej części rozprawy.

W opisie zawartym w tym rozdziale celowe byłoby wskazanie związku pojęcia symplektyczności z formalizmem Hamiltona oraz twierdzeniem Liouville'a. Na stronie 24 zabrakło zdefiniowania symbolu  $dv$  jako różniczkowego elementu objętości przestrzeni fazowej (a nie np. prędkości). Symbol  $\rho$ , określający gęstość cząstek w przestrzeni fazowej występuje w kolizji z promieniem krzywizny oznaczanym tak w innych miejscach rozprawy. Rozdział ten kończy zwięzłe omówienie dwóch projektów wielkich liniowych zderzaczy elektron-pozyton: CLIC i ILC. Zostały one przedstawione w powyższej kolejności chociaż, moim skromnym zdaniem, należało w tym przypadku złamać porządek alfabetyczny i wyraźnie podkreślić, iż projekt ILC znajduje się w bardziej zaawansowanym stadium. Wynika to z faktu, iż dla tego ostatniego przygotowano już tzw. Technical Design Report (TDR), podczas gdy prace nad CLIC zaowocowały dotąd jedynie Conceptual Design Report (CDR).

**W rozdziale trzecim** przedstawiono akcelerator badawczy ATF2. Stanowi on unikalne urządzenie badawcze, umożliwiające m.in. testowanie w praktyce struktury układu końcowego ogniskowania wiązki, ze szczególnym naciskiem na jego dostosowanie do specyfiki projektu ILC. Autor dyskutuje przy tym szczegółowo system końcowego ogniskowania wiązki, a zwłaszcza jego strojenie za pomocą magnesów sekstupolowych. Końcowa część tego rozdziału omawia metodę pomiaru rozmiaru wiązki za pomocą tzw. monitora Shintake oraz komputerowe modelowanie akceleratorowego ATF2 w środowisku programistycznym MAD-X

Zrozumienie działania akceleratora ATF2 byłoby ułatwione, gdyby rysunki 3.3, 3.4 i 3.7 zostały opatrzone bardziej obszernym podpisem, zawierającym wyjaśnienie skrótowych oznaczeń poszczególnych elementów. Rys 3.7 zawiera przy tym błędne oznaczenie magnesu dipolowego B3FF jako B5FF. Na krótkie wyjaśnienie/komentarz zasługuje także wielkość „tune”, wymieniona w tabeli 3.3.

**Rozdział czwarty**, stanowiący pierwszą z dwóch zasadniczych części rozprawy, omawiających badania Autora, przedstawia różnorodne aspekty optymalizacji systemu końcowego ogniskowania wiązki akceleratora ATF2 w warunkach obniżonej wartości parametru  $\beta_y^*$ . Badanie dynamiki wiązki w takim przypadku posiada duże znaczenie praktyczne, gdyż powyższe wartości  $\beta_y^*$  odpowiadają konfiguracji zbliżonej do zakładanych parametrów ILC, a zwłaszcza CLIC. Na wstępie przedyskutowano dwie metody obniżenia



rozmiaru wiązki w kierunku pionowym w obszarze przecięcia wiązek (IP), uzasadniając przy tym wybór podejścia polegającego na instalacji dwóch dodatkowych magnesów oktupolowych. W dalszej kolejności omówiono wpływ tzw. fringe fields na rozmiar wiązki w IP. Zjawisko to odgrywa niewielką rolę dla systemu końcowego ogniskowania CLIC i ILC, lecz okazuje się istotne dla ATF2. Autor zweryfikował pozytywnie skuteczność dwóch sposobów korekcji efektów nieliniowych, pochodzących od wyżej wspomnianych pól. Pierwszy z nich polegał na instalacji dwóch magnesów oktupolowych przy zastosowaniu dwóch opcji ich lokalizacji. Istotą drugiej metody stanowiło zwiększanie wartości parametru  $\beta_x^*$ . Trzecia część badań opisanych w tej części rozprawy dotyczyła wpływu rozpraszania wewnątrz wiązki, tzw. zjawiska IBS, na wartość emitancji a tym samym także i na wartość parametru  $\beta_y^*$ . W naturalny sposób efekt ten staje się coraz bardziej istotny w miarę wzrostu intensywności wiązki. Obliczenia Autora odtwarzają pomiary emitancji oraz rozmiaru wiązki dla jej niskich intensywności oraz prowadzą do ważnego wniosku, iż dla nominalnego ładunku wiązki, osiągnięcie oczekiwanego w projekcie ATF2 jej rozmiaru w kierunku wertykalnym wymaga poprawnego uwzględnienia efektów nieliniowych. Wzrost rozmiaru wiązki związany z podwyższaniem jej intensywności jest przy tym znacznie osłabiony dla optyki zakładającej dziesięciokrotne zwiększenie emitancji w kierunku horyzontalnym. Ostatnia część rozdziału czwartego omawia symulacje optyki systemu końcowego ogniskowania wiązki, przeprowadzone za pomocą środowiska programistycznego MAD-X. Autor zastosował przy tym optykę  $10\beta_x^* 1\beta_y^*$  oraz uwzględnił wszelkie znane niepewności jak np. te wynikające z pozycjonowania czy też niepewności siły magnesów kwadrupolowych. Badania te wskazują na możliwość uzyskania nominalnej wartości rozmiaru wiązki w kierunku wertykalnym, po użyciu stosownych liniowych przesunięć poziomych i pionowych, magnesów sekstupolowych. Dalszą, około dwudziestoprocentową poprawę skupienia wiązki w kierunku pionowym przynosi uwzględnienie poprawek nieliniowych. Warto odnotować, iż zaproponowana przez Autora poprawka w płaszczyźnie zmiennych (x,y) została zastosowana w akceleratorze ATF2.

W dopasowaniu funkcji Enge'go (FE) do pola magnesu w funkcji współrzędnej z (strona 57), zabrakło mi ilościowego uzasadnienia (np. w postaci parametru  $\chi^2/N_{\text{DOF}}$ ) wyższości parametryzacji z udziałem dwóch funkcji FE w stosunku do przypadku z jedną taką funkcją, a także podania błędów parametrów  $a_0, a_1, \dots, a_5$ , otrzymanych w wyniku dopasowania (tabela 4.3). Rysunki 4.16 i 4.17 są cytowane w odwrotnej kolejności. Legenda rysunku 4.17a zawiera drobną pomyłkę: w opisie czerwonego obszaru skrót DR należałoby zastąpić przez EXT.

**W rozdziale piątym** omówiono badania najważniejsze badania Autora, mające na celu wdrożenie dla ATF2 nowej optyki wiązki, zakładającej zmniejszenie wartości parametru  $\beta_y^*$  o połowę. W takich warunkach efekty chromatyczne stają się bardziej istotne i można łatwiej testować ich wpływ na system końcowego ogniskowania wiązki. Poprawek na jej dyspersję w kierunku horyzontalnym dokonano przez dopasowanie siły magnesów kwadrupolowych QF1X i QF6X. W kierunku pionowym zmodyfikowano położenia monitorów optycznych OTR. Dotąd stosowane metody pomiaru emitancji w kierunku wertykalnym, oparte o systemy monitorów promieniowania synchrotronowego oraz OTR, dawały niezgodne wyniki. Autor zaproponował zatem nowy sposób pomiaru tej wielkości, oparty o informację pochodzącą z monitora laserowego Shintake, zlokalizowanego w IP. Wykorzystując własne pomiary emitancji, Autor przeprowadził strojenie optyki akceleratora ATF2 przy zastosowaniu dwóch

konfiguracji:  $(10\beta_x^* \ 1/2\beta_y^*)$  oraz  $(25\beta_x^* \ 1/2\beta_y^*)$ . Oba powyższe cykle strojenia zostały zwieńczone pomiarem wertykalnego rozmiaru wiązki w IP (tabela 5.3), porównanym z wynikami symulacji w środowisku MAD-X. W tym ostatnim przypadku oszacowano czułość wielkości  $\sigma_y^*$  na niepewności wynikające z obecności pól multipolarnych i/lub z błędnego pozycjonowania oraz pochodzące od korekcji orbity zastosowanej w symulacjach (tabela 5.4).

Badania Autora opisane w rozdziale piątym stanowią jeden z pierwszych, ale zarazem bardzo ważny krok w kierunku zastosowania w akceleratorze ATF2 optyki wiązki o obniżonej wartości parametru  $\beta_y^*$ . Wykonanie z powodzeniem tych żmudnych i pracochłonnych prac świadczy o tym, iż p. Patecki posiada szeroką wiedzę w dziedzinie fizyki akceleratorowej i potrafi zastosować ją praktycznie do ważkiego zadania. Autor wykazał się przy tym inwencją, stosując w praktyce nową metodę pomiaru emitancji, opisaną powyżej. Wnioski uzyskane z tych badań są bardzo cenne, gdyż zmierzone wartości rozmiaru wiązki okazały się niemal trzykrotnie większe od nominalnych. Prowadzi to do wniosku, iż niedoskonałości akceleratora ATF2, takie jak błędy w pozycjonowaniu magnesów i silniejsze niż oczekiwano pola multipolarnie są, dla obniżonej wartości  $\beta_y^*$ , istotnie większe w stosunku do tych oczekiwanych w projekcie. Rozbieżności wykryte przez Autora wskazują na konieczność dalszych badań, zwłaszcza tych zmierzających do lepszego zrozumienia wpływu pól multipolarnych. W tej części rozprawy zabrakło mi jedynie szerszego uzasadnienia wyboru wartości dla parametru  $C_{174}$ .

Rozprawa napisana jest starannie oraz poprawnym językiem angielskim. Z obowiązku recenzenta odnotuję kilka drobnych uchybień językowych. Stwierdzenie "Po przypomnieniu Modelu Standardowego" (str. 6) należałoby raczej zastąpić przez np. „Po przedstawieniu krótkiego opisu Modelu Standardowego”. Sformułowania z użyciem słowa „maszyna” (str 6.) np. „strojenie maszyny”, „błędy pozycjonowania stanu maszyny” itp. należą raczej do żargonu środowiska fizyków akceleratorowych i powinny być w rozprawie doktorskiej zastąpione przez „akcelerator”. Praca zawiera jedynie bardzo nieliczne literówki np. „proporconalny” czy „colorness” (str. 5) czy „Hamilton” zamiast „Hamiltonian” (str. 25). W tekście rozprawy brakuje także wzmianki o stosowaniu konwencji jednostek  $\hbar=c=1$ , używanej np. przy podawaniu przez Autora masy bozonu Higgsa (str. 12). Do drobnych potknięć Autora zaliczam również nagminne opuszczanie nawiasów przy podawaniu wymiarowych wielkości obdarzonych niepewnością np.  $\beta_y^* = 50 \pm 2 \mu\text{m}$  (str. 82). Lekturę rozprawy ułatwiły też z pewnością słowniczek skrótów, których występuje w niej wiele. Powyższe uchybienia nie umniejszają jednak w najmniejszym stopniu wartości merytorycznej rozprawy.

Z przyjemnością przeczytałbym jakieś listy polecające, dołączone do dokumentacji przewodu doktorskiego p. Pateckiego i przybliżające zakres Jego pracy naukowej. Szkoda nie zostały one przygotowane np. przez kogoś z grona ekspertów pracujących przy aparaturze akceleratora ATF2.

**Uważam, iż przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim z fizyki i wnoszę o dopuszczenie p. mgr. inż. Marcina Pateckiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**



INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ  
im. Henryka Niewodniczańskiego  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

**Ponadto wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej p. mgr. inż. Marcina Pateckiego.  
Wniosek swój motywuję następująco:**

- 1) Prace p. Pateckiego zostały wykonane za pomocą aparatury unikalnej na skalę światowej, opublikowane w czterech publikacjach ze złamanym porządkiem alfabetycznym autorów, a także wielokrotnie prezentowane przed uznanym gronem ekspertów fizyki akceleratorowej.
- 2) Badania Autora wymagały wszechstronnej wiedzy z nietłatwej dziedziny fizyki akceleratorowej. Na szczególne słowa uznania zasługuje fakt, iż p. Patecki potrafił w swojej rozprawie połączyć w sposób harmonijny wiedzę teoretyczną z pomiarami eksperymentalnymi wraz z umiejętnością prowadzenia złożonych symulacji.
- 3) P. Patecki zbadał szerokie spektrum problemów związanych z optymalizacją systemu końcowego ogniskowania wiązki akceleratora ATF2 w warunkach obniżonej wartości parametru  $\beta_y^*$  oraz przeprowadził tzw. strojenie tego urządzenia wraz z pomiarem rozmiaru wiązki. W tym ostatnim aspekcie na szczególne podkreślenie zasługuje opracowanie oraz doświadczalna weryfikacja nowej metody diagnostyki wiązki, opartej na dokładnych pomiarach jej rozmiaru w IP. Prace opisane w rozdziale piątym mają przy tym potencjalnie duże znaczenie dla dalszych badań dotyczących optyki ATF2 z obniżoną wartością parametru  $\beta_y^*$ , wskazując na zjawiska które należałoby w nich uwzględnić w pierwszej kolejności.

Tadeusz Andrzej Lesiak

