

Prof. dr hab. Marek Stankiewicz  
Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego  
SOLARIS  
Uniwersytet Jagielloński  
Czerwone Maki 98, 30-392 Kraków

Recenzja pracy doktorskiej  
Pana magistra inżyniera Marcina Pateckiego pod tytułem:  
„Optimisation Analysis and Improvement of the Effective Beam Sizes in  
Accelerator Test Facility 2”

wykonanej pod kierunkiem Prof. dr hab. Adama Kisiela z Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej oraz dr. Rogelio Tomasa z CERN.

Tematem pracy doktorskiej Pana mgr. Pateckiego jest optymalizacja końcowego systemu ogniskowania wiązki w celu osiągnięcia jak najmniejszych jej rozmiarów w wysokoenergetycznym elektronowym akceleratorze liniowym *Accelerator Test Facility 2* (ATF2) w ośrodku KEK w Japonii.

Prace te związane są z inicjatywą budowy wysokoenergetycznego liniowego zderzacza leptonów. W tym celu zawiązana została międzynarodowa współpraca *Linear Collider Collaboration* mająca na celu opracowanie koncepcji takiej infrastruktury pozwalającej na badanie zjawisk zachodzących przy czołowych zderzeniach elektronów i pozytronów z energią kilku TeV. W ramach tej współpracy opracowywane są równolegle dwa projekty *Compact Linear Collider* (CLIC) oraz *International Linear Collider* (ILC).

Przewiduje się, iż budowa akceleratorów CLIC lub ILC, umożliwiających badania zjawisk zachodzących przy zderzeniach cząstek elementarnych – leptonów z energią kilku TeV pozwoli na osiągnięcie nowych horyzontów w badaniach fizyki cząstek i oddziaływań elementarnych w ślad za przynoszącym dzisiaj przełomowe rezultaty akceleratorem hadronów LHC w CERN.

W ten ogromny projekt zaangażowanych jest kilka tysięcy naukowców i inżynierów z kilkudziesięciu krajów pracujących często równolegle dla obu koncepcji. Projekt niesie szereg wyzwań w wielu dziedzinach wynikających z konieczności opracowania nowatorskich, przełomowych rozwiązań związanych między innymi z ogromną energią cząstek, nowymi technologiami akceleratorowymi, nowymi detektorami, nowymi układami sekcji prowadzenia wiązki czy konstrukcją stabilnych tuneli gdzie struktury przyspieszające o całkowitej długości kilkudziesięciu kilometrów będą ogniskować zderzające się przeciwbieżnie cząstki w obszarze oddziaływania o przekroju kilkudziesięciu nm.

Ośrodkiem, gdzie obecnie w ramach *Linear Collider Collaboration* sprawdzane są proponowane rozwiązania dla projektów ILC i CLIC jest *Accelerator Test Facility* (ATF) w laboratorium KEK w Tsukubie. Częścią tej infrastruktury jest ATF2 – skalowany prototyp końcowego systemu ogniskowania proponowanego dla CLIC i/lub ILC. W jego opracowanie zaangażowany jest międzynarodowy zespół którego celem jest opracowanie i przetestowanie systemu pozwalającego na zogniskowanie 1.3 GeV wiązki elektronów do rozmiaru 35nm o

stabilności rzędu kilku nm, który pozwoli na przeniesienie zastosowanych rozwiązań do ILC i CLIC.

Praca Pana Pateckiego przedstawia jego wkład w ten projekt.

Praca, za wyjątkiem polskiej wersji streszczenia, napisana jest w języku angielskim. Liczy 108 stron, została podzielona na 6 rozdziałów, w tym wstęp i podsumowanie. Zawiera 63 rysunki i 16 tabel. Spis odnośników i literatury obejmuje 110 pozycji z czego w 7 z nich Pan Patecki jest współautorem. Dwie z nich to publikacje w *Physical Review Accelerator and Beams* (2014 i 2016), dwie to prezentacje na konferencjach IPAC 2015 i 2016, trzy to prezentacje na *ATF2 Operational Meetings (2015 i 2016)*. Warto zauważyć, iż we wszystkich Pan Patecki jest pierwszym autorem.

Edycja pracy jest bardzo staranna, zarówno pod względem językowym jak i graficznym. Zawiera bardzo obszerny materiał wprowadzający w fizykę akceleratorów liniowych włączając odpowiednie definicje, teorie oraz formalizmy obliczeniowe. Oczywiście celem tej recenzji nie jest streszczanie pracy, niemniej dla porządku poniżej przedstawiam krótko jej konstrukcję i główne części.

- **Wstęp**, gdzie w sposób bardzo zwarty przedstawiono motywacje stojącą za projektami budowy wysokoenergetycznego zderzacza leptonów. Zawarte jest krótkie wprowadzenie do Modelu Standardowego wraz z inwentaryzacją cząstek elementarnych oraz zjawiskami, których SM nie wyjaśnia. Tu jako obiecującą teorię autor przedstawia Supersymetrię, wraz z tezą, iż jej weryfikację powinny umożliwić badania przy pomocy TeV liniowych zderzaczy hadronów. Przedstawione jest tu również spektrum możliwości badań w zależności od energii zderzenia w centrum masy oraz możliwości wejścia w nowe obszary fizyki i ponad Model Standardowy (Beyond Standard Model).
- **Opis akceleratorów liniowych** gdzie przedstawiono pojęcia związane z dynamiką wiązki, włączając zagadnienia nieliniowe. Przedstawione są tu również proponowane całościowe projekty układu infrastruktury dla CLIC jak i ILC wraz z krótkim opisem najważniejszych podsystemów (źródła elektronów i pozytronów, pierścienia tłumiącego – *damping ring*, linii transferowej do liniaka, głównego liniaka, układów transportu wiązki). Osobny podrozdział poświęcony jest końcowym systemom ogniskowania wiązki *Final Focus System (FFS)*, aberracjom i sposobami ich wyeliminowania. Przedstawione i porównane są dwa rozwiązania korekcji chromatycznej: tzw. dedykowany oraz lokalny – ten drugi został zaimplementowany i jest testowany w ATF2. Istotną częścią tego rozdziału są opisy zjawisk wpływających na ograniczenia FFS oraz czynników wpływających na wielkość wiązki w obszarze oddziaływania (IP).
- **Opis Accelerator Test Facility w KEK** wraz z najważniejszymi parametrami i przedstawieniem poszczególnych podzespołów. Szczególną uwagę poświęcono układowi FFS i projektowanej modyfikacji (instalacja dodatkowych oktupoli). Opisano tu również między innymi ciekawy sposób pomiaru rozmiarów wiązki elektronów w skali nm przy zastosowaniu interferencyjnego, optycznego *monitors Shintake*
- **Opis zagadnień i prac przeprowadzonych przez autora dotyczących nieliniowej optymalizacji wiązki** dla nominalnych i obniżonych wartości funkcji  $\beta_y$  w obszarze oddziaływania –  $\beta_y^*$  w ATF2. Celem przedstawionych przez autora opracowań jest minimalizacja rozmiarów wiązki w obszarze oddziaływania a tym samym określenie granic możliwości końcowego systemu ogniskowania w ATF2. Przedyskutowane został wpływ wartości  $\beta^*$  na wartość aberracji chromatycznych i ich wpływu na rozmiar IP – symulując w ten sposób warunki przewidywane dla CLIC.



Zaprojektowano rozwiązania optyki dla trzech wartości  $\beta_y^* = 100, 50$  i  $25 \mu\text{m}$ , zoptymalizowanych pod względem osiągnięcia jak najmniejszych rozmiarów wiązki. Pokazano, iż arbitralne zmniejszanie  $\beta_y^*$  powoduje zwiększanie  $\beta_y$  co powoduje iż rozmiary wiązki stają się dużo bardziej podatne na nieuniknione niedoskonałości infrastruktury (błędy w pozycjonowaniu, niedokładności zasilania magnesów, drgania mechaniczne....). Z kolei zwiększanie  $\beta_y^*$  prowadzi do istotnego zwiększenia horyzontalnego przekroju wiązki. Zaproponowano alternatywne rozwiązanie - instalację w FFS dodatkowych magnesów oktopolowych. Wykazano, iż ich zastosowanie przynosi analogiczny efekt jak maksymalne zmniejszenie  $\beta_y^*$  lecz bez wprowadzania efektów niedoskonałości aparaturowych. Z pracy wynika, iż w rezultacie tychże opracowań zoptymalizowanych przy pomocy modelowania w MAD-X podjęto decyzję o zainstalowaniu w ATF2 odpowiednich magnesów oktopolowych. W dalszej części tego rozdziału przedstawiono wyniki obliczeń przedstawiających liniowy i nieliniowy wpływ tzw *fringe fields* na rozmiar wiązki w IP dla struktur magnetycznych ILC, CLIC oraz ATF2. Nie pominięto też tutaj wpływu aberracji optycznych na rozmiar wiązki spowodowany intensywnością paczek (liczbą cząstek) leptonów w wiązce. Na zakończenie przedstawione zostały narzędzia numeryczne bazujące na środowisku MAD-X opracowane w celu przeprowadzenia symulacji strojenia układów FFS w ATF2 i porównania wyników z analogicznymi osiągniętymi w środowisku SAD.

- **Wyniki badań eksperymentalnych** dotyczących implementacji nowej, zaproponowanej optyki w ATF2 i dla  $\beta_y^*$  zmniejszonego o połowę są przedstawione w następnym rozdziale. Były one przeprowadzone w czasie ośmiu 8-godzinnych sesji pomiarowych przeprowadzonych w lutym 2016r. (we wstępie autor informuje iż rozprawa jest wynikiem 11 pobytów w KEK składających się na 23 tygodnie eksperymentów?). Przedstawione w tej części pracy są kolejno procedury strojenia maszyny (dopasowanie dyspersji, korekta sprzężenia, dopasowanie optyczne), pomiary emitancji (włączając zastosowanie monitora Shintake do pomiaru rozmiarów wiązki w kierunku pionowym). Kolejno przedstawiono wyniki przeprowadzonych procedur strojenie wiązki w IP i skonfrontowano je z symulacjami tego strojenia przeprowadzonymi przy zastosowaniu oprogramowania MAD-X oraz metodę diagnostyki wiązki w IP. Pomimo przeprowadzenia optymalizacji maszyny uzyskane minimalne rozmiary wiązki trzykrotnie przekroczyły wartości oczekiwane (wynikające z symulacji). Przedstawiona interpretacja jako główną przyczynę podaje wpływ niedoskonałości maszyny. Pomimo pozornego niepowodzenia jest to bardzo ważny wynik zwracający uwagę na istotny wpływ takich czynników jak między innymi stabilność (mechaniczna, temperaturowa....), pozycjonowanie, precyzja wykonania na rozmiar wiązki w IP.
- Pracę konkluduje **podsumowanie**, gdzie autor jako główne osiągnięcie przedstawia opisane w rozdziale 5 wyniki doświadczalne i wyniki odpowiednich symulacji. Bardzo ważna i wartościowa jest przedstawiona dyskusja trzykrotnej różnicy wartości rozmiaru wiązki otrzymanej z pomiarów i z symulacji.

Oceniając przedstawioną do recenzji pracę doktorską Pana Marcina Pateckiego pragnę podkreślić, iż jest ona wynikiem wyjątkowo obszernych badań i stoi na bardzo wysokim poziomie.

Jest pierwszorzędym opracowaniem, zawiera bardzo ważne wyniki zarówno symulacyjne jak i doświadczalne, uzyskane po przeprowadzeniu trudnych pomiarów na niezwykle skomplikowanej infrastrukturze.

Praca wskazuje, iż autor wykazał się szerokimi zdolnościami zarówno doświadczalnymi, interpretacyjnymi jak i w posługiwaniu się nowoczesnymi metodami obliczeniowymi. Cytowana literatura świadczy o dobrej orientacji autora dotyczącej obecnego stanu wiedzy i badań prowadzonych w kierunku budowy wysokoenergetycznego zderzacza hadronów.

Obowiązkiem recenzenta jest jednak również spojrzenie krytyczne na przedłożoną pracę. Niemniej, poza jedną czy dwiema tzw. „literówkami” (jedna niestety na samym wstępie: *zwrost*) oraz zastosowaniu we wstępie do rozdziału 4 zwrotów „we investigate” i „we describe” nie mam uwag, Może jeszcze ilość odniesień do „private communications” oraz prezentacji na wewnętrznych spotkaniach i konferencjach – gdzie dostęp czytelnika do tych materiałów jest ograniczony lub niemożliwy - jest bardzo duża. Rozumiem, iż wynika to z charakteru projektu w który zaangażowany jest Pan Patecki. Również: prezentacja materiału przedstawionego w drugim rozdziale wydaje mi się lekko niespójna. Powyższe uwagi to jednak drobiazgi.

Podsumowując: praca doktorska Pana Pateckiego prezentuje **bardzo wysoki poziom merytoryczny** i stanowi istotny przyczynek do konstrukcji niezwykle ważnej infrastruktury badawczej jaka powstanie w ramach projektu Linear Collider Collaboration. Przyznaję, iż zazdroszczę Panu Pateckiemu udziału w tym projekcie.

W związku z powyższym uważam, iż przedstawiona mi do recenzji praca Pana mgr. Marcina Pateckiego w pełni spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i niniejszym wnoszę o dopuszczenie autora do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora nauk fizycznych.

Niniejszym proponuję również wyróżnienie rozprawy.



Kraków, kwiecień 2017