

Prof. dr hab. Ryszard Poprawski
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Politechniki Wrocławskiej
50–370 Wrocław
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
ryszard.poprawski@pwr.edu.pl

Wrocław, 18 czerwca 2019 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej magistra Juliana Płoszajskiego

z Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej
Uniwersytetu Łódzkiego

pt. „*Zastosowanie wiązki cząstek z akceleratorów i chłodzonych uzwojeń wolframu do wytwarzania silnych pól magnetycznych*”

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska magistra **Juliana Płoszajskiego**, której promotorem jest **dr hab. Stanisław Bednarek** została przygotowana na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego. Rozprawa składa z wprowadzenia, sześciu rozdziałów, podsumowania i wniosków, spisu literatury zawierającego 69 pozycji oraz wykazu publikacji i referatów związanych z recenzowaną rozprawą. Warto zaznaczyć, że spis literatury znajduje się na końcu każdego rozdziału, a końcowy spis literatury zawiera prawie wszystkie prace cytowane wcześniej w porządku alfabetycznym pierwszych autorów poszczególnych publikacji (w końcowym spisie literatury brakuje np. pozycji [1.38]). Dwukrotne podawanie literatury nieco zwiększa objętość pracy ale ułatwia jej czytanie. Całość rozprawy zawarta jest na 134 stronach maszynopisu. Układ rozprawy jest logiczny, praca napisana jest prosto i jasno. Mimo dość licznych powtórzeń pracę czyta się dobrze. Dobór prac cytowanych w rozprawie uważam za trafny, a tematykę badań za interesującą i wartą kontynuacji.

We wprowadzeniu autor rozprawy przedstawia cel pracy oraz uzasadnienie prezentowanych w rozprawie rozważań. Zasadniczym celem pracy jest analiza możliwości wykorzystania impulsowych pól magnetycznych wytwarzanych przez pakiety cząstek przyspieszonych w akceleratorach do prędkości relatywistycznych oraz zastosowanie wolframu ochłodzonego do temperatury około 1 K do budowy elektromagnesów wytwarzających silne stacjonarne pole magnetyczne w stosunkowo dużej objętości.

W rozdziale 1 autor przedstawia zakresy indukcji pól magnetycznych występujących w przyrodzie, wytwarzanych w laboratoriach, przykłady ich zastosowań w nauce, medycynie i technice (w tym zastosowań militarnych), oraz metody wytwarzania silnych stacjonarnych i impulsowych pól magnetycznych. W tym rozdziale przedstawiono również zalety, wady i ograniczenia poszczególnych metod oraz parametry uzyskiwanych pól magnetycznych.

Opis i analiza rozkładu pól elektrycznego i magnetycznego związanych ze strumieni cząstek poruszających się akceleratorach stanowi treść rozdziałów 2, 3 i 4. Rozdziały 5 i 6 zawierają opis budowy oraz analizę rozkładu pola magnetycznego w cewce mimośrodowej (rozdział 5) i magnesie Bittera (rozdział 6) zbudowanych z wolframu chłodzonego ciekłym helem.

Podsumowanie rozprawy i wnioski wynikające z przedstawionych badań zawarto na końcu rozprawy.

Do analizy rozkładu pola elektrycznego wytworzonego przez pakiet naładowanych cząstek (protonów lub elektronów) poruszających się z prędkością relatywistyczną w układzie związanym z tym pakietem zastosowano zasadę superpozycji pól, następnie korzystając z transformacji Lorentza obliczano rozkład pola magnetycznego w układzie laboratoryjnym. Obliczenia wykonano dla rozkładu punktowego, liniowego z gausowskim rozkładem gęstości cząstek oraz dla trójwymiarowego rozkładu gausowskiego. Równania (2.9), (2.10) i (2.11) przedstawiające transformację Lorentza wykorzystywaną do obliczania składowych pola magnetycznego w układzie laboratoryjnym niepotrzebnie przepisano w rozdziale 4 jako równania (4.3), (4.4) i (4.5). Obliczenia wykonano korzystając z parametrów strumienia protonów w akceleratorze LHC (liczba protonów w pakiecie $1.15 \cdot 10^{11}$, prędkość i energia protonów wynoszą odpowiednio: $v = 0.999\,999\,991\,c$, $E = 7\text{ TeV}$). Dla akceleratora Solaris znajdującego się w Krakowie najważniejszymi parametrami pakietu elektronów są: liczba elektronów w pakiecie $3.125 \cdot 10^{10}$, prędkość i energia elektronów są równe: $v = 0.999\,999\,942\,c$, $E = 2.94\text{ TeV}$.

Najważniejszym wnioskiem z przytoczonych rozważań jest stwierdzenie, że maksymalna wartość indukcji magnetycznej w odległości 5 mm od osi wiązki LHC jest równa 165 T, maksymalna wartość natężenia pola elektrycznego wynosi około 50 GV/m, a czas trwania impulsu jest rzędu femtosekund. Układ pól elektrycznego i magnetycznego może być wykorzystany do badania bardzo szybkich procesów magnetyzacji i przemagnesowania materiałów magnetycznych oraz polaryzacji i magnesowania materiałów multiferroicznych wykazujących równocześnie właściwości ferroelektryczne i ferromagnetyczne. Rozkłady pól w przypadku akceleratora LHC i Solaris są podobne. Różnice wynikają tylko z różnicy znaków ładunków protonów i elektronów oraz parametrów pakietów protonów i elektronów. Natężenia pól strumienia cząstek w akceleratorze Solaris są znacznie mniejsze niż w LHC ($B_{max} = 17.2\text{ T}$, $E_{elmax} = 5.15\text{ GV/m}$), ale wystarczające do większości badań materiałów magnetycznych i multiferroicznych.

Przytoczenie w rozdziale 2 szczegółowego opisu komory do zdalnej wymiany i sterowania próbkami uważam za zbędne. Rysunek 2.11 jest kopią rysunku z opisu patentowego p-422643 autorstwa promotora rozprawy i nie stanowi dorobku doktoranta. Podobna uwaga dotyczy opisu działania komory (strony 33 – 36) oraz rysunków (rys 5.2a, 5.2b i 5.2c) i opisu cewki mimośrodowej (zgłoszenie patentowe nr 4206170). Moim zdaniem wystarczyło zamieścić krótkie akapity na temat budowy i zasady działania tych urządzeń oraz zacytować opisy zgłoszeń patentowych autorstwa dra hab. Stanisława Bednarka. **Pragnę podkreślić, że prawa autorskie są niezbywalne!**

Rozdział 5 poświęcony jest opisowi budowy i obliczeniom rozkładu pola w cewce mimośrodowej wykonanej z wolframu ochłodzonego do temperatury 1 K. Obliczenia wykonano dla cewki o nieskończonej długości i cewki o ograniczonej długości. Obliczenia wykonano korzystając z prawa Ampere'a i z prawa Biota-Sawarta. Po wyprowadzeniu wzorów Autor przeprowadził analizę numeryczną rozkładu indukcji pola magnetycznego wewnątrz mimośrodowej wnęki stycznej do powierzchni uzwojenia. Rozkład indukcji magnetycznej we wnęce jest prawie jednorodny. Przy rozpatrywanych przez Doktoranta założeniach i parametrach indukcja magnetyczna osiąga wartość około 55 T.

W dalszej części rozdziału przytoczono rozważania dotyczące układów zasilania i chłodzenia cewki. Wnioski wynikające z tych rozważań są interesujące. Przy stosunkowo małej mocy zasilania korzystając z cewki wykonanej z wolframu chłodzonego można w dużej objętości uzyskać stosunkowo silne, jednorodne i stacjonarne w czasie pola magnetyczne. Tego typu pola mogą być stosowane zarówno w nauce jak i technice.

Rozważania na temat magnesu Bittera wykonanego z chłodzonego wolframu przedstawiono w rozdziale 6. Zastosowanie chłodzonego wolframu stwarza możliwość bardzo znacznego zmniejszenia mocy zasilającej magnes, ale powoduje konieczność chłodzenia ciekłym helem. Magnesy bitterowskie wykonane z miedzi pracują w pobliżu temperatury pokojowej.

Analiza układu zasilania i chłodzenia jest podobna do tej, którą zastosowano do opisu zasilania i chłodzenia cewki mimośrodowej.

Przykłady błędów i powtórzeń

W kilku miejscach autor podając temperaturę pisze stopnie Kelvina, jednostką temperatury jest Kelvin!

W mianowniku równania 6.46 jest błąd – winno być d_i^4).

Drobny błąd w zapisie cytowanej pod pozycją [1.43] pracy utrudnia jej znalezienie (jest *Europhysics News* zamiast *Europhysicsnews* – to są dwa różne czasopisma o podobnym tytule).

W pracy zauważyłem kilka, czasami zabawnych „literówek”.

Za zbędne uważam przepisywanie równań od 6.36 do 6.43, oraz 6.45, 6.46 i 6.47, są to równania: 5.25, od 5.32 do 5.38, 5.40 i 5.41). W tekście wystarcza na powołanie się na odpowiednie równania z poprzedniego rozdziału

Tabele 2.1 i 4.1 na stronie 67 są prawie identyczne, w tabeli 4.1 podano dodatkowo poprzeczne rozmiary pakietu cząstek. Tabela o numerze 4.1 w której przedstawiono podsumowanie obliczeń rozkładu pól dla LHC i akceleratora Solaris znajduje się również na stronie 86 rozprawy.

Doktorant jest współautorem dwóch opublikowanych prac naukowych (Przegląd Elektrotechniczny (2017) i Bulletin de la Societe des Sciences et des Letters de Łódź, jednego abstraktu ZFP Wrocław 2017, dwóch prac przyjętych do druku oraz trzech referatów wygłoszonych na posiedzeniach Łódzkiego towarzystwa Naukowego w latach 2016 i 2017. Szkoda, że doktorant nie próbował opublikować

wyników badań oraz propozycji nowatorskich rozwiązań dotyczących silnych pól magnetycznych w międzynarodowych czasopismach specjalistycznych.

Podsumowanie

Zgodnie Ustawą z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami „*Rozprawa doktorska przygotowana pod opieką promotora ...powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego ..., oraz wykazać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej ... oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej ...*”

Za najważniejsze osiągnięcia doktoranta uważam:

- wyprowadzenie równań i numeryczną analizę rozkładu pola elektrycznego i magnetycznego wytwarzanego przez strumień naładowanych cząstek przyspieszonych do częstości relatywistycznych,
- obliczenia rozkładu pola magnetycznego w cewce z mimośrodową wnęką wykonaną z wolframu ochłodzonego do temperatury 1. K,
- wskazanie na możliwość wykorzystania pola elektrycznego i magnetycznego powstającego w akceleratorach do badań właściwości magnetycznych i elektrycznych ciał stałych.
- analizę układów zasilania i chłodzenia ciekłym helem elektromagnesu mimośrodowego i bitterowskiego wykonanych z wolframu,
- wykazanie, że zastosowanie uzwojeń elektromagnesów wykonanych z wolframu i ich ochłodzenie do temperatur helowych może spowodować bardzo znaczące ograniczenie mocy potrzebnej do ich zasilania.

Tematyka rozprawy jest ważna i aktualna, dlatego uważam za wartą kontynuacji.

W rozprawie doktorskiej mgr Julian Płoszajski wykazał się znajomością i umiejętnością zastosowania elektrodynamiki klasycznej i relatywistycznej do rozwiązywania skomplikowanych zagadnień związanych z otrzymywaniem silnych pól magnetycznych, zarówno statycznych jak i dynamicznych, wykazał się również znajomością procesów przekazywania ciepła oraz zastosowania tych procesów do opisu układów chłodzenia elektromagnesów.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska magistra magistra Juliana Płoszajskiego pt. „Zastosowanie wiązki cząstek z akceleratorów i chłodzonych uzwojeń wolframu do wytwarzania silnych pól magnetycznych” spełnia wymagania stawiane przez art. 13 ust. 1 Ustawy z 14 marca 2003 roku „o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” i wnoszę o dopuszczenie jej autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

R. Paprawski